



SAVONIA

TILAPÄISSÄHKÖISTYKSEN SUUNNITTELU

Kainuun Rastiviikko 2012

Tero Nevalainen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Tero Nevalainen			
Työn nimi Tilapäissähköistyksen suunnittelu Kainuun Rastiviikko 2012			
Päiväys	4.5.2012	Sivumäärä/Liitteet	52 + 17
Ohjaaja(t) lehtori Heikki Laininen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kajaanin Suunnistajat ry			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tehdä tilapäissähköistyksen sähkösuunnitelma. Opinnäytetyö tehtiin Kajaaniin Kajaanin Suunnistajat ry:lle kesän 2012 Kainuun Rastiviikko -tapahtumaa varten. Tämän työn on myös tarkoitus toimia ohjeena tilapäissähköistyksiä varten. Työssä pyrittiin kiinnittämään erityistä huomiota sähköturvallisuuden toteutumiseen. Tavoitteena oli tehdä tilapäissähköistyksen tarpeita vastaava suunnitelma.</p> <p>Kirjallisessa osuudessa on eritelty kuinka tilapäissähköistyksen toteuttaminen tulisi määräysten mukaan tehdä. Suunnitelma perustuu yleisiin pienjänniteasennusten mitoituslaskelmiin. Työssä huomioitiin myös tilapäisasennuksia koskevien standardien vaatimukset. Laskelmat suoritettiin Excel-ohjelman avulla ja suunnitelma toteutettiin CADS-ohjelmistolla</p> <p>Työn tuloksena saatiin sähkösuunnitelma Kainuun Rastiviikko 2012 -tapahtumaa varten. Suunnitelmassa pyrittiin huomioimaan asennuksen eri vaiheissa tarvittavat tiedot ja niitä vastaavat kuvat. Lisäksi saatiin ohje, jonka avulla saa keskeisen käsityksen tilapäisverkkojen sähköistyksestä. Työn lopussa on koottu lista, mitä eri dokumentteja tilapäislaitteiston sähkösuunnitelmasta tulisi löytyä.</p>			
Avainsanat tilapäissähköistys, sähköistyksen tilapäislaitteistot, väliaikainen jakeluverkko			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Tero Nevalainen			
Title of Thesis Planning of Temporary Electrical Installation - Kainuu Orienteering Week 2012			
Date	4 May 2012	Pages/Appendices	52 + 17
Supervisor(s) Mr Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Kajaanin Suunnistajat ra			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to draw up a plan for a temporary electrical installation. This final year project was commissioned by Kajaanin Suunnistajat ra in Kajaani. The plan was made for Kainuu orienteering week 2012. The purpose of this final year project was also to be a guide for a temporary electrical installation. In the plan, special attention was paid to electrical safety. The aim was to draw up a plan that will meet the needs of temporary electrical installations.</p> <p>First literature was studied to find out how a temporary electrical installation should be done. The general low voltage standards and the special standards of temporary electrical installations were collected and studied as well as the requirements. The plan based on the calculations of general low voltage installations. Second, the calculations were made with the Excel program and the plan was drawn up with the CADs program. The safety of temporary electrical installation was ensured by these calculations.</p> <p>The result of this final year project was a plan for Kainuu Orienteering Week 2012. Different factors on installations were tried to be included in the plan. This final year project will serve as a guide on temporary electrical installations. The documents of the plan were also described in this final year project.</p>			
Keywords temporary electrical installation, temporary electric distribution			
Public			

ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin kevään 2012 aikana Kajaanin Suunnistajille kesän 2012 Kainuun Rastiviikko -tapahtumaa varten.

Kiitän kilpailunjohtajaa Ville Kerästä mielenkiintoisesta aiheesta. Tahdon kiittää myös opinnäytetyöni valvojaa, lehtori Heikki Lainista. Lisäksi haluan osoittaa erityiskiitokset Kainuun Rastiviikon 2012 järjestäjistä Jorma Lappalaiselle, Jukka Liuhalle ja Marika Paanaselle, jotka ovat hankkineet aktiivisesti taustatietoa suunnitelman ja opinnäytetyön toteuttamiseksi.

Kuopiossa 4.5.2012

Tero Nevalainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	KAINUUN RASTIVIIKKO	9
3	TILAPÄISASENNUKSIA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET	10
3.1	Sähköturvallisuus	10
3.2	Standardin SFS 6000 pienjänniteasennuksia koskevat vaatimukset	11
3.2.1	Tilapäisasennuksia koskevat erityisvaatimukset	12
3.2.2	Siirrettävä pienjännitteinen moottorigeneraattorilaitteisto	13
3.3	Sähköturvallisuus	14
3.4	Yleisen sähkönjakelun laadun määritelmät	18
3.4.1	Standardin SFS-EN 50160 mukainen sähkönlaatu	19
3.4.2	Energiateollisuus ry:n mukaiset suositukset sähkönlaadusta	21
4	TILAPÄISVERKON MITOITUS JA SUUNNITTELU	23
4.1	Verkon komponentit	23
4.1.1	Kaapelit	23
4.1.2	Pistokytkimet	26
4.1.3	Keskukset	27
4.2	Kuormituksen arviointi ja laskenta	29
4.3	Oikosulkuvirtojen laskenta	30
4.4	Kaapeleiden ja suojauskennojen mitoitus	33
4.5	Vikavirtasuojauksen mitoitus	34
4.6	Aggregaatin suojaus	35
4.7	UPS-laitteiden mitoitus	36
4.8	Jännitteenalenemien laskenta	37
4.8.1	Jännitteenalenema muuntajassa	38
4.8.2	Jännitteenalenema jakeluverkossa	40
5	KAINUUN RASTIVIIKKO 2012 TAPAHTUMAN SUUNNITELU JA MITOITUS	43
5.1	Kuormitus	43
5.2	Oikosulkuvirtojen ja jännitteenalenemien laskenta	44
5.3	Varavoiman ja UPS-laitteiden mitoitus	46
5.4	Sähkösuunnitelman sisältö	47
6	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET	50

LIITTEET

Liite 1 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 1193/1999 Liite

Liite 2 Piirustusluettelo

Liite 3 Asemakuva

Liite 4 Sähköpää- ja erikoiskaaviot

Liite 5 Laiteluettelo

Liite 6 Laskelmat

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on laatia ohje tilapäisasennusten sähköistystä varten. Tilapäisasennusten suunnittelun laiminlyönti voi johtaa vakaviin sähköturvallisuuspuutteisiin tai ongelmiin tilapäisverkon varsinaisessa toiminnassa. Silti osa kuluttajista mieltää tilapäisasennusten sähkösuunnittelun osittain turhaksi ja kustannuksia leikataankin usein juuri sieltä. Osittain taas suunnitelman laiminlyönti johtuu siitä, että verkko on käytössä lyhimmillään päiviä tai muutamia viikkoja.

Esimerkkikohde on Kainuun Rastiviikko 2012 -tapahtuma, johon on tarkoitus luoda sähkösuunnitelma kisakylän sähköistystä varten. Kisakylä sijaitsee Kajaanin keskustan pohjoispuolella Joutenlammen lähimaastossa. Kainuun Rastiviikko 2012 -tapahtuman järjestäjä Kajaanin Suunnistajat halusi varmistaa sähköverkon toimivuuden tapahtuman aikana. Aikaisemmin sähkösuunnitelmaa ei ole tehty, vaan asennus on pohjautunut edeltävien vuosien kokemukseen.

Kainuun Rastiviikko -tapahtuman toteutusta halutaan kehittää ja myös teknistä toteutusta halutaan parantaa sähkösuunnitelman avulla. Tilapäissähköistyksen suunnittelusta löytyy vain vähän kirjallista tietoutta. Sähköasennusten tulisi onnistua kerralla myös tilapäisasennuksissa. Yleensä asennusten toteutukseen jää aikaa vähän ja ilman kunnon suunnitelmaa voi toteutukseen jäädä ongelmia, jotka näkyvät koko Kainuun Rastiviikko -tapahtuman onnistumisessa.

2 KAINUUN RASTIVIIKKO

Kainuun Rastiviikko on Kainuussa järjestettävä vuosittainen suunnistustapahtuma. Tapahtumaan osallistuu 3 000 – 5 000 suunnistajaa, ja se on näin yksi Suomen suosituimmista harrasteliikuntatapahtumista. Ensimmäisen kerran Kainuun Rastiviikko järjestettiin vuonna 1966. Kainuun Rastiviikko on toiseksi vanhin suunnistusviikko, ja se järjestetään tänä vuonna 46. kerran. Kävijäennätys on vuodelta 2007, jolloin kisaan otti osaa 4 884 osallistujaa. Kainuun Rastiviikon tapahtumapaikka vaihtuu vuosittain Kainuun maakunnan kuntien välillä. Järjestävinä seuroina toimivat Kuhmon Peurat, Sotkamon Jymy, Puolangan Ryhti, Suomussalmen Rasti ja Kajaanin Suunnistajat. Tänä vuonna tapahtuma järjestetään Kajaanissa ja järjestävä seura on Kajaanin Suunnistajat. (Kainuun Rastiviikko ry 2012.)

Kainuun Rastiviikolla on lukuisia kilpa- ja kuntosarjoja. Kilpailuun sisältyy neljä osakilpailua, joiden yhteistulos ratkaisee voittajan. Voittajat palkitaan sekä kilpa- että kuntosarjassa huomattavin palkinnoin. Kainuun Rastiviikkoa pyritään kehittämään vuodesta toiseen, joten kävijöiden palautteet ovat merkittävässä roolissa. Tämän työn tarkoitus on osaltaan kehittää tapahtuman järjestelyjä luotettavammaksi. Kuvassa 1 on Joutenlammen kurssikeskuksen urheilukenttä, joka on varattu kisakylää varten. (Kainuun Rastiviikko ry 2012.)



KUVA 1. Kenttä johon kisakylä pystytetään (Tero Nevalainen 2012)

3 TILAPÄISASENNUKSIA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET

Tilapäisasennusten suunnittelu, rakentaminen ja tarkastaminen eivät poikkea peruseräiteiltään juurikaan kiinteiden asennusten käytännöistä. Usein epäsovivia ratkaisuja perustellaan verkon tilapäisyydellä ja samalla riskeerataan sähköturvallisuus ja sähköverkon toimivuus. Lähtökohtana voitaisiin pitää, että unohdetaan tilapäisyys ja tehdään vain toimivia ja turvallisia ratkaisuja. Standardeista SFS-6000 ja -6002 löytyviä standardeja voidaan soveltaa tilapäisasennuksiin. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota erikoistilojen ja asennusten vaatimuksiin, kuten SFS-6000-7-704 rakennustyömaat.

3.1 Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuutta ohjataan sähköturvallisuuslailla (410/1996), sähköturvallisuusasetuksella (498/1996) ja kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) tekemillä päätöksillä. Päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999), Päätös sähköalan töistä (516/1996) ja Päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996). Sähköturvallisuusasiat kuuluvat kauppa- ja teollisuusministeriön hallinnonalaan. Sähköturvallisuuden viranomaisvalvontaa suorittaa turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES), joka toimii Kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 8; Lakervi & Partanen 2008, 109.)

Sähköturvallisuuslaissa määritellään sähköturvallisuuden taso, joka tulee toteutua sähköasennuksissa. Sähköturvallisuuslakia sovelletaan laitteisiin ja laitteistoihin, joita käytetään sähköä tuottamisessa, jakelussa tai käytössä ja joiden sähköisistä tai sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vahingonvaara tai häiriöitä (Sähköturvallisuuslaki L1996/410, § 2 momentti 1). Näin ollen pienjännitteellä tehty tilapäisasennukset ovat sähköturvallisuuslain piirissä. Sähkölaitteistoja koskevat olennaiset turvallisuusvaatimukset on listattu KTM:n päätöksen 1193/1999 liitteessä 1, joka on tämän työn liite 1. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 9.)

Sähköturvallisuus toteutuu kun

- sähkölaitteet ovat sellaisia, etteivät ne normaalikäytössä aiheuta sähköiskun tai palon vaaraa. Virheelliset käyttötavat on huomioitu laitteen suunnittelussa.
- sähkölaitteisto on turvallinen. Sähkölaitteisto käsittää kaikki sähkölaitteet, tarvikkeet ja rakenteista koostuvan toiminnallisen kokonaisuuden. Esim. kiinteistön sähköverkko on sähkölaitteisto. Asennukset on tehty ammattitaitoisesti laadukkaista tarvikkeista.

- sähkölaitteiden ja -laitteistojen haltijat huolehtivat hallinnassa olevasta teknii-kastaan. Laitteiden ja laitteiston käyttö on turvallista. Laitteissa ja laitteistossa esiintyvät puutteet ja viat tulee korjata nopeasti, ennen kuin ne aiheuttavat onnettomuuden.
- sähkötyöt suunnitellaan ja toteutetaan niin, ettei työntekijälle koidu tarpeeton-ta vaaraa työtä suorittaessa. (Lakervi & Partanen 2008, 109.)

3.2 Standardin SFS 6000 pienjänniteasennuksia koskevat vaatimukset

Tilapäisasennuksiin sovelletaan pienjännitesähköasennuksiin määriteltyjä vaatimuk-sia. SFS 6000 -standardisarja koskee asennuksia, joiden nimellisjännite on enintään 1000 V. Noudattamalla tätä standardisarjaa täytetään viranomaismääräykset eli KTM:n päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999) tämän standardisarjan soveltamisalan osalta (SFS 6000-1, 1). Tähän soveltamisalaan kuuluvat myös raken-nustyömaiden, näyttelyiden, messujen ja muiden tilapäisessä käytössä olevien tilojen sähköasennusten suunnittelu, rakennus ja tarkastus.

Tilapäisasennuksiin sovelletaan yleisiä SFS 6000 1 - 6 -standardeja, jotka sisältävät peruserävaatimukset, suojausmenetelmät, sähkölaitteiden valitsemisen ja asentamisen sekä tarkastukset. Lisäksi tilapäisasennuksiin sovelletaan tapauksittain SFS 6000-7 erikoistilojen standardeja.

Standardin SFS 6000 tärkein tehtävä on määrittää vaatimukset, joiden tarkoitus on suojata ihmisiä, kotieläimiä ja omaisuutta tavanomaisessa käytössä syntyviltä vaaroil-ta ja vahingoilta. Alla olevassa listassa on esitetty vaaratekijät, jotka pyritään huomi-oimaan sähkölaitteiston suunnittelua, asennusta ja tarkastuksia tehtäessä. Eniten huomiota tilapäisasennuksissa kiinnitetään varmasti sähköiskulta, vikavirroilta, ylivir-roilta ja lämmöltä suojaukseen, mutta olisi hyvä miettiä jo suunnitteluvaiheessa, esiin-tykö kohteessa muita vaaroja.(SFS 6000-1, 3.)

Sähköasennuksissa esiintyviä vaaratekijöitä:

- virrat, joista aiheutuu sähköiskun vaara
- liian korkeat lämpötilat, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa tai vamman
- tulipalon syttyminen räjähdysvaarallisessa tilassa
- jännitehäiriöt ja sähkömagneettiset häiriöt, jotka voivat aiheuttaa va-hinkoa tai vamman
- tehosyötön ja/tai turvajärjestelmien toiminnan keskeytyminen
- valokaaret, jotka voivat aiheuttaa häikäistymisen, ylipainetta ja/tai myrkyllisiä kaasuja
- sähkötoimisten laitteiden mekaaniset liikkeet. (SFS 6000-1, 3.)

3.2.1 Tilapäisasennuksia koskevat erityisvaatimukset

Jokainen tilapäisasennus täytyy räätälöidä tilanteen ja kohteen vaatimalla tavalla. Kohteen sijainti ja olosuhteet asettavat rajoja, jotka täytyy huomioida asennusta suunniteltaessa. Standardi SFS 6000 määrittelee tilapäisasennuksia varten muutamia erityisvaatimuksia.

Tilapäisissä sähköasennuksissa joudutaan käyttämään asennusten syöttöpisteessä mitoitusvirraltaan enintään 300 mA:n vikavirtasuojakytkintä kaapeleiden kasvaneen vaurioitumisriskin vuoksi. Vikavirtasuojien selektiivisyys tulee huomioida, koska vikavirtasuojia peräkkäin usein on vähintään kaksi. Selektiivisyys voidaan toteuttaa käyttämällä viiveellä varustettua SFS-EN 60947-2 mukaista vikavirtasuojakytkintä tai standardien SFS-EN 61008-1 tai SFS-EN 61009-1 mukaista S-typin vikavirtasuojakytkintä. 30 mA:n vikavirtasuojaa tulee käyttää jokaisessa ryhmässä, joka syöttää valaistusta, enintään 32 A pistorasiaa tai taipuisalla kaapelilla liitettyä enintään 32 A siirrettävää laitetta. (SFS 6000-7-740, 3-4.)

Tilapäisasennusten ohjaus- ja suojalaitteet on asennettava lukittavaan kaappiin, lukuun ottamatta niitä osia, jotka on tarkoitettu maallikoiden käytettäväksi, kuten vikavirtasuojakytkimet ja johdonsuoja-automaatit. Sähkölaitteiden kotelointiluokan on oltava vähintään IP44. Kaapeloinnin on oltava näyttelyissä, esityksissä ja vastaavissa tapahtumissa vähintään 1,5 mm² kuparikaapelia, joka täyttää standardisarjan CENELEC HD21 tai HD22 tyyppikohtaiset vaatimukset. (SFS 6000-7-711, 3-5) Muualla tilapäisasennuksissa kaapelin poikkipinta on oltava vähintään 2,5 mm² kuparikaapelia, joka täyttää edellä mainitun CENELEC:n standardisarjojen vaatimukset. Tilapäisasennuksissa yleisesti määritellään vain kaapeloinnin mitoitusjännite, jonka tulee olla 450/750 V paitsi huvilaitteiden sisällä, missä riittää 300/500 V. Kaapeloinnin tulee olla mekaanisesti suojattua tai taipuisat kaapelit tulee suojata ja merkata yleisillä alueilla ja alueilla, jossa on huomattava vahingoittumisriski, esim. tienylitykset ja jalkakäytävät. Suojaksi käy putki, jolla on riittävä puristuksen kestävyys. (SFS 6000-7-740, 6-7.)

Jokainen erillistä kokonaisuutta syöttävä tilapäinen sähköasennus tulee varustaa omilla erotuslaitteillaan. Erotuslaite voi olla kytkin, katkaisija, vikavirtasuojakytkin tai muu vastaava erotuslaite. (SFS 6000-7-740, 6.)

Turhia liitoksia tulee tilapäisasennuksissa välttää, mutta mikäli liitoksia tehdään, tulee ne tehdä standardien mukaisilla liittimillä tai sijoittamalla liitos vähintään IP4X mukaiseen koteloon. Lisäksi jos liitokseen kohdistuu vetorasitusta, tulee käyttää kunnollista vedonpoistinta. (SFS 6000 7-740, 5.)

Tilapäisille sähköasennuksille liittymispisteen ja sähkölaitteen välillä on tehtävä käyttöönottotarkastus ennen käyttöönottoa. Tilapäisten sähköasennusten kuntoa tulee tarkkailla koko käytön ajan ja huolehdittava laitteiston kunnosta ja kyttien ja ohjeiden paikallaan pysymisestä. (SFS 6000 7-740, 8.)

3.2.2 Siirrettävä pienjännitteinen moottorigeneraattorilaitteisto

Siirrettävä pienjännitteinen moottorigeneraattorilaitteisto voi olla tilapäisessä asennuksessa varsinainen sähköenergian lähde tai se voi toimia varavoimalähteenä kohteissa, joissa tarvitaan varmuus jatkuvasta sähköenergian saannista. Standardit velvoittavat kaikkia sähköverkon laitteita toimimaan niin etteivät ne aiheuta laite- tai henkilövahinkoja. Käytännössä tämä tarkoittaa, että generaattori on varustettava suojalaitteilla, jotka estävät vahingot laitteistolle ja henkilöille. Jatkossa käytetään termiä **aggregaatti** kattamaan kaikki siirrettävät pienjännitteiset moottorigeneraattorilaitteistot. (ST-52.40, 2.)

Aggregaatista tulisi löytyä arvokilpi, josta löytyvät laitteen perustiedot: nimellisteho (kVA), nimellispätöteho (kW), nimellisjännite, nimellisvirta, nimellispyörimisnopeus, nimellistaajuus (Hz), kotelointiluokka, tyyppi ja laitteen valmistaja. Lisäksi laitevalmistajan on ilmoitettava suojaukseen liittyviä sähköisiä ominaisuuksia, kuten suurin laitteen syöttämä oikosulkuvirta ja sen kesto aika, oikosulussa suurin toimiva johdon-suojakatkaisija kuormanpuolella laukaisukäyrineen ja suurimmat kytkettävät kuormat, joilla jännite ja taajuus pysyvät vielä sallituissa rajoissa. (ST-52.40, 5.)

Suunniteltaessa suojausta aggregaatille tärkein tieto on syöttääkö aggregaatti pysyvää oikosulkuvirtaa. Asynkroniset aggregaatit eivät syötä koskaan pysyvää oikosulkuvirtaa, vaan oikosulkuvirta romahtaa kuusinkertaisesta nimellisvirrasta n. 0,5 sekunnissa lähes nolleen. Normaalit - kuormitukseen perustuvat - oikosulkusuojoina toimivat laitteet eivät ehdi reagoida tai oikosulkuvirta ei ole riittävä laukaisuun ja näin vikapaikka jää syöttämään pieni virta. Tämä voi aiheuttaa kuitenkin palovaaran, joten vika on saatava katkaistua. Tämän vuoksi alkuperäisen verkon ylivirtasuojauksista joudutaan usein muuttamaan jos aggregaatti toimii varavoimana. Osalla synkronisista aggregaateista oikosulkuvirta on pysyvää, koska aggregaatin magnetointi on varmis-

tettu erillisellä magnetointilaitteella. Oikosulkuvirtaa syöttäviltä aggregaateilta edellytetään Pysyväksi oikosulkuvirraksi 2,2 - 2,9 kertainen nimellisvirta. Oikosulkuvirran suuruutta rajoittaa generaattorin mekaaninen mitoitus ja voimakoneen teho. Pienemmillä aggregaateilla oikosulkuvirrat jäävät kuitenkin niin pieniksi ettei suojaus perinteisellä oikosulkusuojuuksella ole mahdollinen. (ST-52.40, 2-4.)

Pienissä alle 5 kVA:n 1 - vaiheisissa aggregaateissa suojausmenetelmänä voidaan käyttää suojaerotusta. Tällöin generaattorin käämitys on eristetty ja kytketty vain pistorasian äärijohtimiin. Suojakosketin on yhdistetty aggregaatin jännitteelle alttiisiin osiin. Maadoitus kytketään TN - ja IT - järjestelmissä vain laitteesta löytyvään maadoitusliittimeen, ei kuitenkaan suoraan laitteen runkoon. (ST-52.40, 4.)

Suuremmilla aggregaateilla suojaus voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Syötön automaattinen poiskytkentä tavallisilla ylivirtasuojilla onnistuu, kun aggregaatin syöttämä oikosulkuvirta on riittävä ja syötettävän verkon koko on kohtuullisen pieni. Aina perinteistä ylivirtasuojaukseen ei voida kuitenkaan käyttää, jolloin suojaus voidaan toteuttaa vikavirtasuojakytkimellä tai maasulku-, vakioaikaylivirta- tai alijännitesuojalaitteen ohjaamalla kompaktikatkaisimella. (ST-52.40, 6.)

Vikavirtasuojakytkin on perinteisin ja toimivin ratkaisu, koska esim. 30mA vikavirtasuojakytkin toimii jo 0,3 sekunnissa nimellisellä toimintavirrallaan. Vikavirtasuojakytkimen käyttö onnistuu kuitenkin vain TN-S-järjestelmässä, jossa generaattorin tähtipiste on maadoitettu. Tällöin aggregaatille tulee asentaa maadoituselektrodi. Jos TN-S-järjestelmä ei ole käytettävissä ja aggregaatti ei syötä riittävää oikosulkuvirtaa, ylivirtasuojaukseksi jää ratkaisuksi alijännitelaukaisu. (ST-52.40, 6.)

3.3 Sähkötyöturvallisuus

Kun työskennellään sähkölaitteistoissa tai niiden läheisyydessä, on olemassa erilaisia sähköisiä riskejä, joiden tunnistaminen vaatii sähkötyöturvallisuusstandardin tunteamista. Sähkötyöturvallisuusstandardia SFS-6002 sovelletaan kaikilla jännitealueilla pienisjännitteestä suurjännitteisiin. Kaikki sähkölaitteistojen käyttö ja työskentely sähkölaitteistoissa tai niiden läheisyydessä kuuluu tämän standardin piiriin. Näin ollen tätä standardia sovelletaan myös tilapäisasennuksiin. ”Standardi ei koske maallikoita, jotka käyttävät sähkölaitteistoja ja laitteita, jotka täyttävät niitä koskevien standardien vaatimukset, ja jotka on suunniteltu ja asennettu maallikoiden käytettäväksi.” (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 6.)

Sähköalan töitä voivat tehdä työn vaativuudesta riippuen eri henkilöt. Työn vaativuus on arvioitava aina ennen työn alkua. Arvioinnista vastaa sähkötöiden johtaja tai hänen valtuuttamansa henkilö. Alla ovat eri henkilöiden määritelmät:

- **Maallikko:** ”henkilö, jolla ei ole sähköalan koulutusta tai työkokemusta eikä häntä ole opastettu sähköalan töihin”
- **Opastettu henkilö (s):** ”henkilö(s), joka on kouluttautumas-
sa(ammattioppilaitos, amk tai yliopisto) sähköalalle ja jolla on vaihteleva määrä sähköalan koulutusta ja työkokemusta, mutta ei vielä täytä itsenäiseen työhön kykenevän henkilön vaatimuksia”
- **Opastettu henkilö (m):** ”henkilö(m), joka on maallikko, mutta jonka sähköalan ammattihenkilöt ovat opastaneet kyseiseen työhön, siten että hän kykenee välttämään työtä tehdessään sähkön aiheuttamat vaarat eri olosuhteissa.”
- **Ammattihenkilö:** ”Henkilö, jolla on oman alansa sähkötyöhön soveltuva koulutus ja työkokemus, jonka perusteella hän kykenee arvioimaan tekemäänsä työhön liittyvät turvallisuusriskit, työskentelemään itsenäisesti ja välttämään mahdolliset sähkön aiheuttamat vaarat. Samoin hän kykenee valvomaan maallikoiden tai opastettujen henkilöiden tekemiä töitä.” (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 8.)

Kauppa ja teollisuusministeriön päätöksessä määritellään perusvaatimus kaikkiin sähköalan töihin. ”Sähköalan töitä tekevän henkilön tulee olla tehtävään ja sen sähköturvallisuu-
tta koskeviin vaatimuksiin perehtynyt tai opastettu.” (KTMp Sähköalan töistä L 1996/516, § 9.) Sähköalan ammattihenkilön vaatimukset määritellään 11§. ”Riittävän ammattitaitoiseksi valvomaan ja itsenäisesti tekemään koulutustaan ja työkokemustaan vastaavan alan sähkö- ja käyttötyötä katsotaan se, joka on mainittuihin töihin opastettu ja joka on:

- 1) suorittanut soveltuvan tekniikan alan korkeakoulututkinnon ja hankkinut kuuden kuukauden työkokemuksen sähkötöissä;
- 2) suorittanut soveltuvan sähköalan insinöörin tai teknikon tutkinnon ja hankkinut kuuden kuukauden työkokemuksen sähkötöissä;
- 3) suorittanut soveltuvan ammattitutkinnon, erikoisammattitutkinnon tai vastaavan aiemman koulutuksen tai tutkinnon ja hankkinut kuuden kuukauden työkokemuksen sähkötöissä;
- 4) suorittanut soveltuvan ammatillisen perustutkinnon tai vastaavan aiemman koulutuksen tai tutkinnon ja hankkinut kuuden kuukauden työkokemuksen sähkötöissä;
- 5) hankkinut kuuden vuoden työkokemuksen sähkötöissä ja riittävät alan perustiedot.” (KTMp Sähköalan töistä L 1996/516, § 11 momentti 1.)

”Jos kyse on samankaltaisiin sähkölaitteisiin tai laitteeseen rinnastettaviin laitteistoihin kohdistuva sähkötyö, riittävän ammattitaitoiseksi tekemään itsenäisesti kyseisiä töitä katsotaan 1 momentista poiketen myös se, jolla on kahden vuoden työkokemus kyseisestä sähkötyöstä ja riittävät alan perustiedot tai liitteen kohdan 2 mukainen koulutus ja vuoden työkokemus kyseisestä sähkötyöstä” (KTMp Sähköalan töistä L 1996/516, § 11 momentti 5.)

Sähkölaitteistolla täytyy olla vastuuhenkilö, joka vastaa laitteiston käytöstä. Henkilöä kutsutaan sähkölaitteiston käytöstä vastaavaksi henkilöksi ja henkilö täytyy nimetä myös tilapäislaitteistoille. Sähkölaitteiston käytöstä vastaava henkilö vastaa eri laitteistojen välisistä tiedonsiirroista muiden sähkölaitteiston käytöstä vastaavien henkilöiden kesken. Lisäksi henkilö vastaa esim. sähkötilojen lukinnasta ja valvonnasta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 14.)

Myös sähkötyöllä täytyy olla vastaava henkilö. Tämä sähkötyöstä vastaava henkilö sopii sähkölaitteiston käytöstä vastaavan henkilön kanssa sähköntyön mahdollistavista sähköisistä kytkennöistä ennen työskentelyn aloittamista. Työstä ja sähkölaitteiston käytöstä voi vastata myös sama henkilö. Sähkötöitä tehdessä täytyy olla työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja, joka osallistuu sähkötyöhön tai tekee sen kokonaisuudessaan itse. Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan tulee aina olla työkohteessa. Sähkötöitä valvomaan on nimettävä henkilö, jolla on riittävä kelpoisuus. Tämä on joko sähkötöiden johtaja tai sähkökäytönjohtaja. Sähkötöiden johtaja vastaa yrityksessä sähköturvallisuudessa ja hänellä on oltava toimialueen kattava pätevyystodistus. Hänen asemansa tulee olla sellainen, että hänellä on mahdollisuus vaikuttaa vastuullaan oleviin asioihin ja huolehtia tehtävistään. Sähkötöiden johtaja on aina sähköalan ammattilainen. Sähkökäytönjohtaja täytyy nimetä kohteeseen, jonka sähkölaitteiston nimellisjännite on yli 1000 V (suurjännitelaitteistot) tai pienjännitelaitteistoihin, joiden liittymisteho on yli 1600 kVA. Käytönjohtajalla on oltava asianmukainen pätevyystodistus. Käytönjohtajan tulee olla sähkölaitteiston haltija tai tämän palveluksessa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 11 - 14.)

Sähkötyöturvallisuuden takaamiseksi sähkötöitä tekevillä tulee olla oikeanlaiset työvälineet ja varusteet. Niiden turvallisuus on varmistettava ennen työn aloitusta ja tarvittaessa työn aikana. Käytettäviä työvälineitä ovat henkilökohtaiset välineet ja jännitetyövälineet. Jännitetyövälineiden tulee olla standardin SFS-EN 60900

mukaisia, ja niitä tulee käyttää töissä, joissa voidaan joutua työn aikana lähelle jännitteisiä osia. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 21.)

Sähkötöiden teko tulee suunnitella ennen töiden aloitusta. Suunnittelusta vastaa joko käytönjohtaja tai sähkötöiden johtaja. Heidän tulee varmistua siitä, että sähkötöitä tekevät henkilöt ovat riittävän ammattitaitoisia ja riittävästi opastettuja ja ohjeistettuja kyseisiä töitä varten. Käytännössä työnaikaista sähköturvallisuutta valvova henkilö antaa luvan työn aloitukseen, keskeyttämiseen ja lopettamiseen kohteissa, jotka ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja joihin kuuluu perussähkötöitä tai kunnossapitotöitä, joissa sovelletaan ennalta sovittuja menettelyjä. Jos kohde on haastavampi tai olosuhteet ovat muuttuneet ennalta sovitusta, tulee työnaikaista sähköturvallisuutta valvovan henkilön olla yhteydessä työstä vastaavaan henkilöön. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 11 - 12, 35.)

Pääsääntö on, että sähkötyöt pyritään tekemään jännitteettömänä. Ennen varsinaista sähkötyötä laitteiston jännitteettömyys on varmistettava ja tarvittaessa laitteisto on työmaadoitettava. Aina sähkötöitä ei kuitenkaan voida tehdä jännitteettömänä. Jos kohteessa tehdään jännitetöitä, on kohteesta laadittava jännitetyöohje. Päätöksen jännitetyöstä tekee aina työstä vastaava henkilö. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 37 – 38.)

Jännitetöissä on noudatettava seuraavia menetelmiä:

- Edellytykset jännitetyölle on arvioitava etukäteen
- Jännitetyön suoritus on aina ohjeistettava
- Lupien myöntämisestä ja ohjeistuksesta päättää sähkötöiden johtaja tai käytön johtaja
- Jännitetyö on perusteltua silloin, kun jännitekatko ei ole mahdollinen esim. tuotannollisista syistä
- Jännitetyö on mahdollista tehdä yksintyöskentelynä, kun riskit ovat vähäiset
- Sähköiskun tai oikosulun vaara tulee estää tai poistaa
- Jännitetyöt jaetaan perustasoihin ja vaativiin sähkötöihin
- Jännitetöiden tekijällä tulee olla voimassaoleva jännitetyökoulutus
- Käytetään jännitetyökaluja
- Palo- ja räjähdysvaara on poistettava ennen jännitetyön aloitusta
- Ympäristöolosuhteet saattavat estää jännitetyön tekemisen väliaikaisesti tai kokonaan (esim. tuuli, kosteus ja alhainen lämpötila)
- Käytetään tarvittaessa lisäsuojauksia
- Tarkastetaan mistä kohde saadaan jännitteettömäksi vahingon sattuessa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 61 - 62.)

3.4 Yleisen sähkönjakelun laadun määritelmät

Sähkönlaatu ja jakelun luotettavuus ovat nykypäivänä entistä tärkeämmässä roolissa. Sähköenergialla toimivien laitteiden määrä kasvaa ja laitteiden sisältämä lisääntynyt elektroniikka vaatii entistä parempaa sähkönlaatua. Lyhytkin jakelukatkos aiheuttaa ongelmia sekä teollisuudessa, palvelualalla että yksityistalouksissa. Suomessa sähkönjakelun luotettavuudesta ja laadusta vastaavat pääasiassa verkkoyhtiöt. Jakeluverkkotoimintaa ohjaa sähkömarkkinalaki, joka on tullut voimaan 1995. Sähkömarkkinalaissa käsitellään sähkönlaatua yleisellä tasolla. (Alanen & Hätönen 2006, 13.)

Sähkömarkkinalaissa mainitaan sähkönlaadun vaatimuksista seuraavaa:

”Sähkötoimitus on virheellinen, jos sähkönlaatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä voidaan katsoa sovitun. Jollei toisin ole sovittu, sähkötoimitus on virheellinen, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja tai jos sähkötoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä.”(Sähkömarkkinalaki L1999/466, § 27c.)

Sähkönlaatuun vaikuttavat yleensä ylijännitteen, harmonisten aaltojen, jännitteen vaihtelun, jännite-epätasapainon ja transienttien aiheuttamat ongelmat. Taulukossa 1 on kuvattu sähkönlaatua heikentävät tekijät.

TAULUKKO 1. Sähkönlaatua heikentävät keskeisimmät ongelmat (Alanen & Hätönen 2006, 12)

Häiriötyyppi	Mahdolliset syyt
Sähkönjakelun katkos (>1min)	Huoltotoimet, linjaviat, onnettomuudet, sää, jää
Pitkäaikainen ylijännite	Pieni kuormitus, huono säätö
Pitkäaikainen alijännite	Raskas kuorma, voimakkaat kuormitus-huiput, ei loistehonsäätöä, huono tehokerroin
Hetkelliset katkokset	Katkaisijoiden laukeaminen, vian selvitystilanne, syötön vaihto
Jännitekuopat	Suurien kuormien kytkentä, hetkelliset viat, katkaisijoiden toiminta, induktiiviset kuormat
Hetkelliset ylijännitteet	Piirin kapasitanssi, suurten kuormien poiskytkentä, vaihevika
Transienttijännitteet	Valaistus, kapasitiivinen kytkentä, virtasuojan laukeaminen, epälineaariset kuormat, häiriöt
Harmoniset virran yliaallot	Epälineaariset komponentit, korkeataajuiset kytkennät, TV, tietokoneet, valaistus, huono tehokerroin, laitteiden aiheuttama signaalihäiriö
Jaksolliset häiriöt ($t < 0,5$ sykliä)	Tehoelektroniikkalaitteet
Välkyntä	Eritäajuinen jännitteen vaihtelu, valaistus, loistehon vaihtelu
Jännite-epätasapaino	Epätasainen kuormitus, kompensointikondensaattorit, moottorit

3.4.1 Standardin SFS-EN 50160 mukainen sähkönlaatu

Suomessa käytössä olevassa standardissa yleisen jakeluverkon jakelujännitteen laatua arvioidaan kahdella kriteerillä: jännitteenlaatu ja toimitusvarmuus. Vuonna 2000 Suomessa astui voimaan eurooppalainen standardi SFS-EN 50160 yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Tämä standardi toimii sähkönlaadun minimivaatteenä sähkönjakelussa. (Anjala 2008, 29.)

Standardissa on käsitelty useita jakelujännitteeseen ja käyttövarmuuteen liittyviä ominaisuuksia. Standardissa ei suoraan käsitellä tilapäisverkkojen sähkönlaatua, mutta standardia sovelletaan niiltä osin, kuin se on järkevää. Generaattorin syöttämien verkkojen jännitteen laatua voidaan tulkita erillisverkkojen määritelmien perusteella. Toimitusvarmuutta ei käsitellä tässä työssä tilapäisverkkojen lyhyen käyttöajan takia. Tärkeintä kuitenkin tilapäisissäkin verkoissa on saavuttaa sellainen sähkönlaatu, jotta vältetään huonosta sähkönlaadusta johtuvilta katkoksilta ja laitevaurioilta. Alla olevassa listassa ovat ominaisuudet, joita käsitellään standardissa:

- verkkotaajuus
- jakelujännitteen suuruus
- jännitetaso vaihtelut
- nopeat jännitemuutokset
- nopeiden jännitemuutosten suuruus
- välkynnän häiritsevyysindeksi
- jännitekuopat
- lyhyet keskeytykset
- pitkät keskeytykset
- johtimen ja maan väliset tilapäiset käyttötaajuiset ylijännitteet
- johtimen ja maan väliset transienttiylijännitteet
- jakelujännitteen epäsymmetria
- harmoninen yliaaltojännite
- epäharmoninen yliaaltojännite
- verkon signaalijännitteet liittämiskohdassa. (Lakervi & Partanen 2008, 251.)

Tilapäisissä verkoissakin on hyvä ottaa huomioon sähkönlaatuun vaikuttavat ominaisuudet. Mitoituksen kannalta tärkein on jakelujännitteen suuruus ja kulutuspiisteessä jännitteenalenema, joka syntyy verkossa syntyneissä häviöissä.

Verkkotaajuuden nimellisarvon tulee olla 50 Hz. Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvon 10 s mittausjaksolta tulee olla yhteiskäyttöverkoissa

- 50 Hz ± 1 % 99,5 % vuodesta
- 50 Hz ± 4 % 100 % vuodesta

erillisverkoissa

- 50 Hz ± 2 % 95 % viikosta
- 50 Hz ± 15 % 100 % ajasta (Lakervi & Partanen 2008, 251.)

Jakelujännitteen suuruus on oltava pienjännitteellä 230 V. Lisäksi normaaliolosuhteissa vikatapauksia lukuun ottamatta:

- Jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista tulee olla välillä $U_n \pm 10$ %
- Kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä ± 10 – ± 15 %. (Lakervi & Partanen 2008, 252.)

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoinen jännite, joka on perustaaajuuden monikerta. Normaaliolosuhteissa viikon aikana 95 % jokaisen yliaaltojännitteen 10 minuutin tehollisarvon keskiarvoista tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 2 annettu arvo. Lisäksi kokonaissärökerroin (THD) tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 % mukaan lukien 40 ensimmäistä yliaaltoa. Yliaallot aiheutuvat pääsääntöisesti sähkönkäyttäjien epälineaarisista kuormista, kuten suuntaajakäytöt, teholähteet ja purkausvalaisimet. Suurimpia yliaaltovirtoja aiheuttavat 150 Hz (3.), 250 Hz (5.), 350 Hz (7.) komponentit, jotka voivat pahimmillaan aiheuttaa verkon nollajohtimen vahvistamisen. (Lakervi & Partanen 2008, 254.)

TAULUKKO 2. 25 ensimmäisen yliaaltojännitteen enimmäisarvot prosentteina nimellisjännitteestä (Lakervi & Partanen 2008, 255)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestyslu- ku n	Suhteelli- nen jännite	Järjestyslu- ku n	Suhteelli- nen jännite	Järjestyslu- ku n	Suhteelli- nen jännite
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 - 24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

3.4.2 Energiateollisuus ry:n mukaiset suositukset sähkönlaadusta

Energiateollisuus ry on julkaissut sähkötoimituksen laadusta suosituksen, jossa sähkönlaatu jaetaan 3 ryhmään: korkea laatu, normaalilaatu ja standardilaatu eli minimilaatu. Suositus pohjautuu julkaisuun, jossa on arvioitu realistiset ja käytännössä mahdolliset sähkönlaadun mittaus- ja arviointikriteerit. Taulukossa 3 on esitetty suosituksen mukaiset jännitteen ominaisuudet. Taulukossa 4 on esitetty pienjänniteverkossa jännitteen vaihtelualue ja jännitteenalenemat. Tilapäisverkoissa jännitteenalenemat voivat nousta suuriksi. Siksi on tärkeää tarkastaa pisimpien ryhmien jännitteenalenemat ja varmistua, että jännite on riittävä kuormituspisteessä. Jännit-

teenalenemat saattavat ylittyä tietyillä osuuksilla, ja siksi onkin tärkeää tarkastella jännitteenalenemaa kokonaisuutena. (Anjala 2008, 29.)

TAULUKKO 3. Suositellut jännitteen laatukriteerit (Lakervi & Partanen 2008, 256)

Jännitteen ominaisuus	Korkea laatu	Normaalilaatu	Standardilaatu SFS-EN 50160	Huomautus
Taajuus	50 Hz \pm 0,5 %	50 Hz \pm 1 %	99,5 % vuodesta: 50 Hz \pm 1 % 100 % ajasta 50 Hz + 4 % / - 6 %	Mittaus 10 s jaksoissa
Jännitetason vaihtelu	220 - 240 V ka.225 - 235 V	207 - 244 V	95 %: $U_n \pm 1$ % Kaikki: $U_n + 10$ % / - 15 %	Mittaus tehollisarvojen 10 min keskiarvona viikon ajan
Harmoniset yliaallot	THD \leq 3 %	$U_n \leq$ taulukon 2 arvot ja THD \leq 6 %	95 % $U_n \leq$ taulukon 2 arvot ja THD \leq 8 %	Mittaus 10 min jaksoina viikon ajan

TAULUKKO 4. Pienjänniteverkon jännitealueet ja suurimmat jännitteenalenemat (Anjala 2008, 29)

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Pienjännitejakelu	196 V	253 V	± 4 %	± 10 %	+ 10 - 15 %
Muuntamo	220 V	253 V		1 - 2 %	2 - 4 %
Pienjänniterunkoverkko	210 V	253 V		3 - 5 %	3 - 7 %
Liittymisjohto	207 V	253 V		1 - 3 %	1 - 5 %
Sisäjohtoverkko	198 V	253 V			1 - 4 %

4 TILAPÄISVERKON MITOITUS JA SUUNNITTELU

Tilapäissähköistyksen suunnittelu olisi hyvä päästä aloittamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Näin saadaan riittävän aikaisessa vaiheessa yhteys verkkoyhtiöön mikäli uudelle liittymälle tai esimerkiksi sähkönsyöttöjärjestelmän vahvistamiselle on tarvetta. Lähtökohtana on asiakkaan tarve eli se millaista kuormitusta verkon pitäisi pystyä syöttämään. Alkuvaiheessa olisi hyvä selvittää tulevan tilapäisverkon kulu- tuspisteet ja mahdolliset käytettävissä olevat sähkönsyöttöpisteet. Mikäli tilapäissäh- köistykselle avataan uusi sähköliittymä, on kokonaiskuormitus ja mahdollinen laajen- nustarve arvioitava alkuvaiheessa mahdollisimman tarkasti. Seuraavaksi tulee selvit- tää verkkoyhtiöltä, onko lähitöllä muuntamoita, joissa on riittävästi tehoreserviä tule- vaa kuormitusta varten. Mikäli sopivaa ratkaisua ei löydy verkkoyhtiöltä, on seuraava keino käyttää aggregaatteja. Silloin pyritään mitoittamaan kulutus mahdollisimman tarkasti, jotta vältetään turhaa ylimitoitusta sähköntuotannossa. Seuraavaksi mitoit- taan varsinainen verkko ja siihen toimiva suojaus. Verkon suunnittelun lähtökohta täytyy olla verkon turvallisuus ja käyttövarmuus kuten kiinteissä verkoissakin.

4.1 Verkon komponentit

Tilapäisessä verkossa käytettävät komponentit poikkeavat monelta osin kiinteissä asennuksissa käytettävistä komponenteista. Yleensä tilapäisen verkon lähtökohta on nopea asennettavuus ja muunneltavuus, mikä asettaa tietyt vaatimukset tilapäisissä asennuksissa käytettäville komponenteille. Komponentit tulee olla helposti liitettävissä ja liikuteltavissa paikasta toiseen. Komponentit altistuvat usein myös kovemmalle mekaaniselle rasitukselle, mikä on huomioitu komponenttien rakennetta suunnitelta- essa. Kovempi mekaaninen rasitus johtuu pääosin jatkuvasta komponenttien liikutte- lusta paikasta toiseen.

4.1.1 Kaapelit

Tilapäisissä asennuksissa kaapelointi muodostuu pääosin taipuisista liitántäkaape- leista. Taipuisien liitántäkaapeleiden rakenne mahdollistaa toistuvan kaapeleiden liikuttelun ilman kaapeleiden vaurioitumista. Taipuisat kaapelit eli kumikaapelit ovat eteenipropeenikumi (EPR) -eristeisiä hienosäikeisistä kuparijohtimista muodostuvia kaapeleita, joilla on hyvä mekaaninen kestävyys ja joustavuus. Kumikaapeleita käyte- tään puolikiinteissä ja liikuteltavissa kohteissa. Toisin sanoen kohteissa joissa kaapeli jää liikkuvaksi asennuksen jälkeen, täytyy käyttää kumikaapeleita.

Kaapeleiden kuormitettavuuden on oltava sellainen, ettei kaapelin suurin käyttölämpötila ylitä. Tämän lämpötilan jatkuva ylittäminen heikentää kaapelin käyttöikää ja saattaa aiheuttaa tulipalon vaaran. Käytännössä kaapeli mitoitetetaan kuitenkin kaapelin suurimman kuormitusvirran mukaan. Tilapäisen verkon kaapeloinnin suunnittelua ja mitoitusta helpottavat selkeät kaapeleiden kuormitettavuudet, jotka on helppo tarkastaa kolmivaiheisten pistokytkimien virran kestoisuudesta 250 A saakka. Tätä suuremmilla kuormitettavuuksilla kuormitettavuus tarkastetaan yksittäisten johtimien nimellisistä poikkipinnoista. Taulukossa 5 on esitetty suositukset kolmivaiheisten jatkojohtojen mitoituksesta pistokytkimen mukaan. (SFS 6000-5-52, 13.)

TAULUKKO 5. Tavallisimmat kolmivaiheisten jatkojohtojen rakenteet (SFS 6000-8-813, 4)

Mitoitusvirta A	Taipuisat kaapeli	
	CENELECin mukainen tyyppi	poikkipinta mm ²
16	H05RN-F, H07RN-F, H05BB-F, H07BB-F	5 x 2,5
32	H05BB-F, H07RN-F, H07BB-F	5 x 6
63	H07RN-F, H07BB-F	5 x 16
125	H07RN-F, A07BB-F	5 x 50
250	H07RN-F, A07BB-F	5 x 95

Raskaissa olosuhteissa, kuten rakennustyömaat tulee käyttää 450/750 V kaapeleita. Soveltuvia kaapelityyppejä ovat mm. H07RN-F ja H07BB-F. 300/500 V nimellisjännitteiset kaapelit on tarkoitettu käytettäväksi laitteiden sisäisinä kytkentäjohtoina. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 181.) Tätä vastaavat kaapelityypit ovat mm. H05RN-F ja H05BB-F. Tilapäissähköistystä koskeva standardi SFS 6000-7-740 velvoittaa käyttämään 450/750 V kaapeleita kaikissa kohteissa lukuun ottamatta huvilaitteita. Näin ollen on järkevää mitoittaa kaikki kaapelit 450/750 V mukaan, miettimättä kohteen olosuhteita. (SFS 6000-8-813, 4.)

Joustavien kaapeleiden poikkipintojen valinta tapahtuu yleensä taulukon 5 mukaisesti. On kuitenkin muutamia tilanteita, jolloin on hyvä tarkastaa nollajohtimen kuormitus. Kolmivaiheisia kuormituksia syötettäessä voi nollajohtimen koko olla pienempi kuin

vaihejohtimien, kun vaihejohtimien poikkipinta-ala on vähintään 16mm² kuparia tai 25mm² alumiinia. Tällöin on huolehdittava, ettei nollajohtimen kuormitettavuus ylitä. (SFS 6000-5-52, 15.) Joustavissa kaapeleissa myös nollajohdin on yleensä samankokoinen kuin vaihejohtimet. Poikkipintojen ja laitteiden mitoitus täytyy tehdä nollajohtimen mukaan kun:

- 3. harmonisen yliaallon osuus ylittää 40 %. Tällöin nollajohtimeen summautuvan virran suuruus ylittää vaihejohtimien virrat. Harmonisia yliaaltolähteitä ovat mm. suuntaajatekniikka ja elektroniset tehollähteet. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 223.)
- Vaiheiden välinen kuormitettavuus vaihtelee merkittävästi. Kuormitus pyritään jakamaan tasaisesti eri vaiheiden kesken jo suunnittelu- vaiheessa.

Joustavissa kaapeleissa täytyy huomioida myös kaapelin mekaaninen kestävyys, koska kaapelia joudutaan liikuttelemaan toistuvasti. Kaapelit levitetään ja kasataan kiepille useita kertoja kaapelin elinaikana. Kaapeleiden täytyy kestää myös eri sääoloja kuten pakkasta rajoitetusti. Myös erilaiset kemikaalit voivat joutua tekemisiin kaapelin kanssa, jotka voivat heikentää kaapelin eristystä.

Tilapäisissä asennuksissa varmasti yleisimmät vauriot syntyvät, joko ajoneuvon tai ihmisten aiheuttamista kaapelin eristysvaurioista. Näitä vaurioita voidaan ehkäistä tehokkaasti suunnittelemalla kaapelireitit järkevästi. Kaapelit pitäisi pyrkiä viemään aina kuljettavan alueen ulkopuolelta. Mikäli kaapeli kuitenkin viedään kuljettavan alueen kautta, tulisi pyrkiä käyttämään alueen reunoja tai maaston muotoja hyväksi. Jos kaapeli kuljetetaan alueen läpi, jossa on selkeä vaurioitumisvaara, joudutaan kaapeli suojaamaan tai nostamaan ylös pois vaurioitumisalueelta. Kaapeli voidaan nostaa joissakin tapauksissa esim. puiden varaan ripustettuun vaijeriin. Kaapeli voidaan myös sijoittaa riittävän puristuskestävään putkeen ja kaivaa maahan tai suojata kaapeli maanpinnalla koururakenteen avulla. Koururakenteen on oltava sellainen, että se kestää liikkumattomana myös tarvittaessa ajoneuvojen ylitykset. Koururakenne saisi olla tilapäisasennuksissa helposti kasattava ja liikuteltava. Suojakouruja löytyy muutamilta valmistajilta ainakin teräksisinä, kumisina ja alumiinisina, jotka saadaan tarvittaessa vielä liitettyä kiinni toisiinsa. Tilapäisasennuksia koskeissa standardeissa veloitetaan huolehtimaan riittävästä kaapeleiden mekaanisesta suojauksesta alueilla, joissa on vaurioitumisriski. Kuvassa 2 on esimerkki kaapeleiden suojaamisesta kourujen avulla.



KUVA 2. Kaapeleiden suojaus kourujen avulla (Vuorenmaa 2009, 38)

4.1.2 Pistokytkimet

Pistokytkimillä tarkoitetaan kiinteästi asennettuja pistorasioita, jatkopistorasioita, pistotulppia ja siirtymispistokytkimiä, joilla siirrettävät laitteet liitetään joko kiinteään verkkoon tai toiseen siirrettävään laitteeseen. Pistokytkimien mitoitusvirta tulee olla riittävä ja mitoitusjännitteen järjestelmään sopiva. Kiinteän asennuksen pistorasian ja jatkojohdon pistokytkimen kantaosan mitoitusvirran tulee olla vähintään virtapiiriä suojaavan ylivirtasuojan suuruinen. Yksivaiheisen siirrettävän laitteen pistotulpan mitoitusvirta saa olla kuormitusvirran mukainen. (SFS 6000-8-813, 1.)

Teollisuuspistokytkimiä joita käytetään tilapäislaitteistoissa, tulee täyttää standardien SFS-EN 60309-1 ja SFS-EN 60309-2 vaatimukset. Lisäksi sen tulee täyttää vastaavat IEC standardit. Standardit määräävät, ettei eri napaluvulla, jännitteellä, taajuudella tai virta-arvolla olevia pistokytkimiä voi kytkeä keskenään. Maadoitusholkin sijainti ohjainuran suhteen määräytyy jännitteen ja taajuuden mukaan. Lisäksi on olemassa värikoodi, joka erottelee pistokytkimet eri jännitteille ja taajuuksille. Nimellisvirta määrää pistokytkimen koon. Esimerkiksi suomessa käytettävässä 400/230 V verkossa ovat käytössä punaiset pistokytkimet 400 V jakelujännitteellä ja siniset pistokytkimet 230 V jakelujännitteelle. Kuvassa 3 näkyy 400/230 V verkossa käytettävät pistotulpat. Suomessa molemmilla jakelujännitteillä ”kelloluku” on 6h eli maadoitusholkki sijaitsee pistokytkimissä kello kuudessa eli ohjainuran kohdalla. Maadoitusholkin tunnistaa sen suuremmasta koosta. Standardien täyttävät pistokytkimet tunnetaan CEE-pistokytkiminä. Kolmivaiheisina pistokytkimiä saa kokoluokissa 16 A, 32 A, 63 A sekä 125 A. Yksivaiheista 16 A teollisuuteen tarkoitettua pistokytkintä voidaan käyttää myös normaalin suojakoskettimilla varustetun kotitalouspistokytkimen tilalla. Tämä on

tarpeen esim. silloin kun halutaan varata pistorasioita vain määrättyyn käyttöön. Tilapäisverkoissa käytettävien kotitalouteen tarkoitettujen yksivaiheisten suojakosketin pistokytkimien tulee täyttää standardin SFS-5610 vaatimukset. Kotitalouteen tarkoitettuja yksivaiheisia pistokytкимиä käytetään 16 A saakka.

(ABB Oy 2004, 6-7; SFS 6000-8-813,2-3.)



KUVA 3. Suomessa käytettävät 400/230 V jakelujännitteen teollisuuspistokytkimet (ABB Oy 2004, 10 - 20)

4.1.3 Keskukset

Tilapäisissä sähköasennuksissa käytettävien keskusten tulee olla tilapäiskäyttöön tarkoitettuja. Niiden tulee olla käyttöolosuhteet huomioon ottaen mekaanisesti, termisesti ja sähköisesti riittävän kestäviä. Yleisesti tilapäisissä sähköasennuksissa käytetään työmaakeskuksia, joiden erityisvaatimukset on kuvattu standardissa SFS-EN 60439-4. Tämä standardi täydentää jakokeskuksia koskevaa standardia SFS-EN 60439-1. (SFS 6000-8-810, 2.)

Työmaakeskukseen kuuluu syöttöyksikkö ja yksi tai useampi lähtöyksikkö. Lisäksi se voi sisältää mittaus- ja muuntajayksiköitä. Lähtöyksiköillä voi olla erilaisia toimintoja. Ne voivat syöttää toista työmaakeskusta tai erilaisia sähkötoimisia laitteita. Työmaakeskus voi olla tarkoitettu muodostamaan koko sähkölaitteiston tai osan laitteistoa muiden yhteensopivien työmaakeskusten kanssa. Työmaakeskuksia koskevat samat määräykset sähköiskulta suojauksesta kuin muitakin jakokeskuksia. Keskuksia ketjutettaessa pyritään selektiiviseen suojaukseen aina, kun se on mahdollista. Tämä vähentää suurien alueiden turhia sähkökatkoja ja vian paikallistaminen helpottuu. Keskuksien syöttöyksikössä kaapeleiden liitälaitteiden, esim. pistokytkimien, on oltava yksikön virran nimellisvirranarvoihin sopivia. Yksiköstä täytyy löytyä erotuskytkin tai muu yhtä luotettava erotuslaite. Erotuslaite on voitava lukita auki-asentoon. Jokaisesta lähtöyksiköstä täytyy löytyä laite piirin erotukseen, kuorman kytkemiseen, ylivirtasuojaukseen ja kosketusjännitesuojaukseen. Nämä toiminnot voidaan yhdistää saman laitteen alaisuuteen. Työmaakeskuksen rakenteen on oltava sellainen, että vain pistorasiat, kahvat ja ohjauspainikkeet ovat keskuksen ulkopinnalla käsiteltävissä

ilman avainta tai työkalua. Pääkytkimen sijainti on oltava sellainen, että se on helposti käsiteltävissä. Lisäksi työmaakeskuksessa täytyy olla tukirakenne, joka mahdollistaa keskuksen seisomisen vaakatasolla tai rakenneosat seinälle kiinnittämistä varten. Tukirakenne voi olla kuvan 4 kaltainen, jonka avulla keskus pysyy pystyssä maanpinnalla. (SFS-EN 60439-4, 18 – 32.)

Työmaakeskusten vikavirtasuojaus poikkeaa hieman kiinteän verkon suojauksesta. Työmaakeskuksissa kaikki enintään 32 A:n pistorasiat on suojattava enintään 30 mA:n vikavirtasuojilla. Mikäli 32 A pistorasiaa käytetään muiden työmaakeskusten syöttämiseen, sitä ei tarvitse suojata 30 mA:n vikavirtasuojalla edellyttäen, että rakenteella tai varoituskilvellä ehkäistään näiden pistorasioiden väärinkäyttö. Nimellisvirraltaan yli 32 A:n pistorasiat on suojattava enintään 500 mA:n vikavirtasuojalla. Vikavirtasuojakytkin tulee sijoittaa keskukseseen sellaiseen paikkaan, että se on helposti ja turvallisesti käsiteltävissä ilman työkalua avattavan oven tai luukun takana. (SFS 6000-7-711, 3.)

Keskukselta tulee löytyä arvokilpi, josta voidaan tarkastaa keskuksen ominaisuudet ja sopivuus muuhun järjestelmään. Arvokilvestä tulisi löytyä ainakin valmistaja, mallimerkintä, nimellisvirta, nimellisiäännitteet ja kotelointiluokka. Työmaakeskuksen kotelointiluokan tulee olla vähintään IP44. (SFS-EN 60439-4, 7.)



KUVA 4. 63 A työmaakeskus (Vohek Oy 2012)

Työmaakeskukset jaetaan kolmeen ryhmään niiden käyttökohteen mukaan:

- Työmaan pääkeskus toimii liittymiskeskuksena syöttöverkkoon ja sen lähtöyksiköihin liitetään työmaan sähköasennukset. Pääkeskuksessa on normaalisti myös energianmittauslaitteet.
- Työmaan alakeskus liitetään suuremman työmaakeskuksen kuormituspuolelle ja se syöttää pistorasioistaan työmaan pistorasiakoteloita ja siirrettäviä sähkölaitteita.

- Työmaan pistorasiakeskuksessa kaikissa lähtöliitännöissä on pistorasiat. (SFS-EN 60439-4, 21.)

Kainuun Rastiviikolla keskusryhmän rakenne jäi suhteellisen yksinkertaiseksi. Liittymän koko on 63 A ja pääkeskus syöttää yhtä 63 A alakeskusta. Tämä alakeskus syöttää 32 A alakeskuksia, jotka syöttävät kuormitusta ja pistorasiakeskuksia.

4.2 Kuormituksen arviointi ja laskenta

Tilapäissähköistysten kuormitusta ja huipputehoja arvioitaessa ei voida turvautua samanlaisiin kuormitusmalleihin ja tyyppikuluttajiin kuin esimerkiksi kotitalouksien tai julkisten palveluiden kulutuksen arvioinnissa. Esimerkiksi kotitalouden kulutus voidaan mallintaa, kun tunnetaan riittävän monta samankaltaista kulutuskohdetta. Näin voidaan asettaa arvioitu vuosienergiakulutus. Vuosienergian pohjalta voidaan laskea arvioitu huipputeho suunnittelulaskentaa varten. Huipputehojen laskenta perustuu tilastomatematiikkaan ja laajoihin mittauksiin eri kuormitusten käyttäytymisestä. Tämänkaltaiset menetelmät eivät siis toimi tilapäissähköistysten kuormituksen arvioinnissa, koska sähkölaitteisto on käytössä vain päiviä tai viikkoja ja vastaavia tyyppikuluttajia harvoin löytyy riittävää määrää. (Lakervi & Partanen 2008, 54.)

Lähtökohtana voidaan pitää, että hankitaan tiedot tulevan tilapäissähköistysten suurimmista kuormituksista ja mahdollisimmat tarkka arvio siitä millaista muuta kuormitusta verkkoon kytketään. Esimerkkikohteesta hankittiin laitteiden tehotiedot tai laiteluettelo suurista kulutuskohteista, kuten esim. ravintolateltasta, maalialueesta ja kylmäkontista. Myös muusta alueella tapahtuvasta kuormituksesta kuten kauppiaiden myyntiteltoista oli hankittu riittävä määrä tietoa kuormituksen arvioimiseksi. Käytännössä kuormitus saadaan laskemalla saadut tai arvioidut laitetehot yhteen. Kokonaiskulutuksen huipputehon arvioinnissa pitää tietää eri kuluttajaryhmien huipputehot ja näiden tehontarpeiden vaihtelut eri aikoina. Vaihtelu voidaan ottaa huomioon osallistumiskertoimella. Osallistumiskerroin kertoo tiettyä ajankohtana sähkönkäyttäjän tehon suhteessa sähkönkäyttäjän huipputehoon. Esimerkkikohteen tietoja eri kulutuskohteista on taulukossa 6. (Lakervi & Partanen 2008, 54.)

TAULUKKO 6. KRV2012 huipputehoja eri kulutuskohteissa

Kulutusryhmä	Huipputeho
Ravintola-alue	26 680 VA
Kylmäkontti	4 000 VA
Kuulutuskoppi	1 760 VA

Kainuun Rastiviikolla 2012 kisakylän sähköistys tapahtuu useammasta pisteestä. Pääalueen, urheilukentän sähköistys tehdään uudesta liittymästä, jonka mitoitus on 3 x 63 A. Tämä mitoitus on tehty järjestäjän puolesta ja se perustuu aikaisempien vuosien kisakylän sähköistykseen. Kisakylän urheilukentän kokonaishuipputehoa arvioitaessa täytyi kiinnittää huomio siihen, että osakilpailun päättyessä lähes koko kojekuorma voi olla käytössä. Ravintola-alueella on paljon suuria hetkellisiä kuormituksia kuten kahvinkeitin ja vedenkeitin, jotka nostavat huipputehoa kun kävijöitä ravintola-alueella on paljon. On kuitenkin tässäkin tapauksessa perusteltua arvioida huipputeho pienemmäksi kuin kokonaiskojekuorma. Esimerkiksi jokaisen tulostimen, kahvinkeitinien ja kylmälaitekompressorien yhtäaikainen toimiminen on epätoennäköistä. Koska sopivaa laskentamallia ei ole olemassa, arvioidaan kuormitus osallistumiskertoimella. Jos huipputehot lasketaan näennäistehoista, joudutaan huomioimaan tehokertoimet, jotta laskenta olisi pätevä. Tässä tapauksessa kuormitus on suhteellisen resitiivinen koko alueella, joten tehokertoimeksi laskennassa on oletettu kaikilla kuormilla 0,96.

4.3 Oikosulkuvirtojen laskenta

Oikosulkuvirtojen laskeminen tai mittaaminen on tärkeää vikasuojauksen toimivuuden toteutukseksi. Standardi SFS 6000-1 velvoittaa tarkastamaan suojauksen toteutumisen suunnitteluvaiheessa. Suojausehtojen toteutumisen tarkastamiseksi on laskettava pienin sallittu oikosulkuvirran arvo, jolla suojalaite toimisi vaaditussa ajassa. Mikäli oikosulkuvirtoja mitataan ennen uuden verkon suunnittelua, on niiden oltava 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintarajavirrat. Tämä johtuu siitä, että toimintarajavirrat on ilmoitettu oikosulun aikaisessa lämpötilassa. Lämpötila on suurempi kuin mittaushetkellä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 92.)

Oikosulkuvirtojen selvittäminen yleensä riittää piirien kauimmaisissa pisteissä suojalaitteesta katsottuna. Oikosulkuvirtojen laskentaa voidaan yksinkertaistaa ja laskea se kaavaa 4.3.1 käyttäen. Kyseinen kaava antaa oikosulkuvirran 10 % tarkkuudella. Saadut oikosulkuvirrat ovat kuitenkin aina todellisia pienempiä, joten menetelmä so-

veltuu vikasuojausehtojen tarkasteluun. Kaavan 4.3.1 avulla ei voida tarkastella esim. suojalaitteen katkaisukykyä, koska arvot ovat todellisia pienempiä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 92.)

Yksivaiheisen oikosulkuvirran määrittämiseen voidaan käyttää kaavaa

$$I_K = \frac{(c * U)}{\sqrt{3} * Z} \quad (4.3.1)$$

jossa:

I_K on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
 c on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman eri liitoksissa
 U pääjännite
 Z virtapiirin kokonaisimpedanssi ennen vikapaikkaa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 92.)

Esimerkkikohteen oikosulkuvirtojen laskeminen aloitettiin hankkimalla verkkoyhtiöltä muuntopiiriä koskevat tiedot. Saadut arvot ovat taulukossa 7. Sähkönjakeluyhtiö toimitti muuntajaa koskevat tiedot ja yksivaiheisen oikosulkuvirran muuntajan alajännitepuolella. Virtapiirin kokonaisimpedanssissa on huomioitava muuntajaa edeltävän verkon impedanssi, muuntajan impedanssi ja muuntajan jälkeisten johtimien impedanssi. Tässä tapauksessa kun oikosulkuvirta on ilmoitettu alajännitepuolella, voidaan laskenta aloittaa muuttamalla oikosulkuvirta sitä vastaavaksi impedanssiksi. Tässä impedanssiarvossa on huomioitu edeltävän verkon ja muuntajan vaikutus.

TAULUKKO 7. Muuntajan tiedot

Mitoitusteho	315 kVA
Ensiöpuolen mitoitusjännite	20 000 V
Toisiopuolen mitoitusjännite	410 V
Oikosulkuresistanssi	1,147 %
Oikosulkuimpedanssi	4,8 %
1-V oikosulkuvirta toisiopuolella	7,48 kA
Tyhjäkäyntihäviöt	570 W
Kuormitushäviöt	3 613 W

Oikosulkuimpedanssi muuntajan alajännitepuolella

$$Z_1 = \frac{c * U}{\sqrt{3} * I_K} = \frac{0,95 * 410 \text{ V}}{\sqrt{3} * 7480 \text{ A}} = 30,1 \text{ m}\Omega \quad (4.3.2)$$

Seuraavaksi lasketaan oikosulkuvirta pääkeskuksella. Verkkoyhtiö toimittaa tilapäisen pääkeskuksen ja rakentaa sitä varten AMKA-linjan. AMKA-linjan 3 x 35 + 70 pituus muuntajalta pääkeskukselle on 250 m. Taulukossa 8 on kyseisen kaapelin johdintiedot.

TAULUKKO 8. Liittymisjohdon tiedot (Anjala 2008, 38)

Johto	$R_v (+40^\circ\text{C})$ Ω/km	$R_0 (+40^\circ\text{C})$ Ω/km	$X_v (+40^\circ\text{C})$ Ω/km	$X_0 (+40^\circ\text{C})$ Ω/km
AMKA 3x35+70	0,938	0,533	0,103	0,072

Liittymiskaapelin impedanssi on

$$Z_j = \left(\sqrt{(R_v^2 + X_v^2)} + \sqrt{(R_0^2 + X_0^2)} \right) * l \quad (4.3.3)$$

$$= \left(\sqrt{(0,938^2 + 0,103^2)} + \sqrt{(0,533^2 + 0,072^2)} \right) * 0,25 \text{ km} = 0,37 \Omega$$

Pienin oikosulkuvirta pääkeskuksella

$$I_K = \frac{0,95 * U}{\sqrt{3} * (Z_1 + Z_j)} = \frac{0,95 * 410 \text{ V}}{\sqrt{3} * (30,1 \text{ m}\Omega + 0,37 \Omega)} = 562 \text{ A} \quad (4.3.4)$$

Kun lasketaan oikosulkuvirrat eri keskusten läpi, on tärkeää huomata, että tämän menetelmän käyttö vaatii osaimpedanssien laskemisen aritmeettisesti yhteen. Oikosulkuvirrat kannattaa yleensä tarkastaa keskuksilla ja jokaisen sulakeportaan kauiummaisissa ryhmissä. Näin vältetään turhalta laskemiselta, mutta käytännössä koko verkon oikosulkuvirtojen poiskytkennät on tarkastettu. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 29.)

4.4 Kaapeleiden ja suojauksen mitoitus

Kaapeleiden mitoituksen lähtökohta on kuormitus mitä kaapelin on kyettävä syöttämään. Lisäksi asennuksissa on tarpeen huomioida erilaiset kuormitettavuusolot kaapelille. Lämpötila vaikuttaa kuormitettavuuteen. Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan laitteen ominaisuuksien on täytettävä kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (4.4.1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (4.4.2)$$

jossa:

I_B	on virta mille piiri on suunniteltu
I_z	on johtimen jatkuva kuormitettavuus
I_n	on suojalaitteen mitoitusvirta
I_2	on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa (SFS 6000-4-43, 1-4.)

Lisäksi virtapiiri on suojattava oikosululta. Oikosulkusuojat sijoitetaan kohtaan missä johtimen poikkipinta pienenee tai olosuhteet muuttuvat. Oikosulkuvirtojen riittävyys tarkastetaan edellisen kappaleen mukaisesti kauimmaisissa ryhmissä.

Oikosulkusuojaukselle asetetaan kaksi vaatimusta:

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
2. Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 134.)

Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukset voidaan kuitenkin yhteen sovittaa saman suojalaitteen alaisuuteen. ”Jos ylivirtasuojana käytetty sulake mitoitetaan ylikuormitus-suojaksi ja sen katkaisukyky on riittävä, suojalaite soveltuu myös oikosulkusuojaksi.” (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 142.) Tilanne on tällainen asuintalojen ja vastaavien pienempien liittymien sähköasennuksissa.

Tilapäisasennuksissa kojepistokkeella syötettävissä johdoissa niiden kuormitettavuutta ei tarvitse erikseen tarkastella, kun kojepistoke on suojattu nimellisvirtaansa vastaavalla ylivirtasuojalla ja kojepistokkeeseen kytkettävä kaapeli on poikkipinnaltaan vähintään taulukossa 5 sivulla 24 mukainen. (SFS 6000-8-813.)

Kainuun Rastiviikon Kisakylän kuormituspisteille laskettiin niitä kuormittavat virrat. Näin saatiin lähtökohta kaapeleiden mitoituseseen. Käytännössä kuitenkin kaikki pistorasiat on suojattu vähintään 16 A johdonsuoja-automaatilla ja syöttö kuormituspisteelle tapahtuu sitä vastaavalla kaapelilla. Käytännössä tarkastetaan että kaikkien kuormituspisteiden virrat jäävät alle suojalaitteen mitoitusvirran. Taulukossa 9 on esimerkki kaapeleiden ja suojauksen mitoituksesta.

TAULUKKO 9. Kaapeleiden ja suojalaitteiden mitoitus

Kohde	Mitoitusvirta	Suojalaitteen mitoitusvirta	Kaapeli
AK2	8,1 A	32 A	H07RN-07 5G6
AK2.2	4,0 A	16 A	H07RN-07 5G2,5

4.5 Vikavirtasuojauksen mitoitus

Vikavirtasuojauksen mitoituksen merkitys korostuu tilapäisissä verkoissa, joissa vikavirtasuojia voi olla useampia peräkkäin. Mitoituksella pyritään saavuttamaan vikavirtasuojien selektiivinen toiminta. Selektiivisyydellä saadaan vikapaikkaa lähin vikavirtasuojia toimimaan ensimmäisenä. Käytännössä selektiivisyys pienentää vian aiheuttaman häiriön laajuutta ja näin luo käyttövarmuutta. Myös eri vikavirtasuojien perässä olevat ryhmät kannattaa mitoittaa niin, että vikavirtasuojan toiminnasta aiheutuva katkos jäisi mahdollisimman pienelle alueelle.

Tilapäisverkoissa lisäsuojauksia perustellaan tilapäisverkkojen kaapeleiden kasvaneena vaurioalttiutena. Käytännössä Lisäsuojauksia toteutetaan syöttöpisteessä enintään 500 mA:n vikavirtasuojalla. Kaikki enintään 32 A ryhmäjohtoja syöttävät pistorasiat on suojattava enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. Jos 32 A pistorasiaa käytetään toisen ryhmäkeskuksen syöttöön, sitä ei tarvitse suojata 30 mA:n vikavirtasuojalla, edellyttäen että rakenteella tai varoituskilvellä ehkäistään näiden pistorasioiden käyttö muuhun tarkoitukseen. (SFS 6000-7-711, 3.)

Käytännössä esimerkkikohteessa lisäsuojauksia asennetaan Alakeskukseen 1. Standardi velvoittaa käyttämään vikavirtasuojaa tilapäislaitteiston syöttöpisteessä, joka tässä tapauksessa on tilapäislaitteiston pääkeskus. Koska pääkeskuksesta ei ole kuin yksi lähtö, niin vikavirtasuojauksella on järkevää siirtää alakeskukseen, jossa kuormitus saadaan jaettua kahden vikavirtasuojan taakse. Pääkeskus syöttää alakeskusta

1 63 A pistorasiasista. Alakeskukseen 1 asennetaan kaksi S-typin 300 mA:n vikavirtasuojaa. Taulukossa 10 on esitelty kohteen vikavirtasuojaus.

TAULUKKO 10. KRV2012 Vikavirtasuojaus

Kohde	Suojalaitteen tyyppi
AK1	300 mA 4P / 80 A S-tyyppi
Ryhmät	30 mA 4P / 40 A

4.6 Aggregaatin suojaus

Aggregaatin syöttämän verkon suojaukseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Pääsääntöisesti automaattinen poiskytkentä pyritään toteuttamaan standardin mukaisesti ylivirtasuojien avulla. Jos suojaus ei kuitenkaan onnistu ylivirtasuojien avulla, voidaan suojaus toteuttaa käyttämällä erilaisia vikavirtasuojakytkimiä tai maasulku-, vakioyliyvirtarele- tai alijännitesuojalaitteen ohjaamaa kompaktikatkaisijaa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 304 - 306.)

Aggregaatin syöttämien verkkojen ylikuormitussuojaus tulee toteuttaa niin, että se toimii kaikissa käyttötilanteissa. Sulakesuojauksen mitoituksessa tulee huomioida, että se toimii vasta riittävän suurella ylivirralla. Oikosulkusuojauksessa ongelmana on yleensä se, ettei aggregaatin syöttämä oikosulkuvirta laukaise ylivirtasuojaa riittävän nopeasti. Silloin voidaan suojasta täydentää käyttämällä edellisessä kappaleessa mainittuja suojalaitteita. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 304 - 306.)

Suojauksen selvittämiseksi olisi hyvä tietää generaattorin syöttämän oikosulkuvirran suuruus. Aina sitä ei kuitenkaan suoraan ilmoiteta, jolloin voidaan käyttää lähtökohteisesti luvun 3.2.2 sivulla 14 mukaisia suhteellisia arvoja. Oikosulkuvirta voidaan arvioida kertomalla aggregaatin syöttämä nimellisvirta oikosulkukertoimella 2,2. Tästä nähdään millä ylivirtasuojilla voidaan toteuttaa nopea poiskytkentä. Jos ylivirtasuojan koko ei riitä kuormitusvirralle, täytyy nopea poiskytkentä hoitaa esim. alijännitelaukaisulla.

Kainuun Rastiviikolle on tarkoitus vuokrata *Atlas Copco QAX12* aggregaatti, jonka on tarkoitus toimia varavoimana kylmäkontille ja maalialueen kulutusryhmille. Aggregaatti syöttää tarvittaessa pistokytkimien kautta ko. kulutusryhmiä. Sähkökatkostilanteissa alakeskus 4 ja alakeskus 1.1 kytketään aggregaattiin. Keskuksat syöttävät maali-

alueen kulutusposteita ja kylmäkonttia. Generaattorin maadoituspiste kytketään pääkeskuksen potentiaalintasauskiskoon. Kainuun Rastiviikolle 2012 tuleva aggregaatti on kuvassa 5.



KUVA 5. KRV2012 Aggregaatti (Ramirent Finland Oy 2012)

4.7 UPS-laitteiden mitoitus

Tilapäisasennuksissa voi olla jatkuvan sähkönsyötön tarve eikä katkoksia sallita. Lisäksi elektroniset laitteet eivät kestä suuria jännite- tai taajuusmuutoksia. Tällöin ratkaisu ovat staattiset tasasuuntaajat eli UPS-laitteet. Yleisimpiä kohteita, jotka vaativat katkeamattoman sähkönsyötön, ovat tietotekniikan laitteet. UPS-laitteiden mitoituksessa täytyy huomioida kuorma, joka kytketään UPS:n perään ja toisaalta kuinka kauan sähkönjakelun on säilyttävä katkoksen sattuessa. Tässä työssä keskitytään ainoastaan pieniin pistokytkimillä liitettäviin alle 16 A lähtövirtaisiin UPS-laitteisiin. UPS-laite ei syötä tässä tapauksessa kiinteää verkkoa.

Myös UPS-asennuksissa ongelma on usein syötön nopea poiskytkentä. Standardi SFS 6000 edellyttää pistorasiaryhmiltä 0,4 sekunnin poiskytkentäaikaa, jonka toteuttaminen pelkästään ylivirtasuojilla voi olla ongelmallista. UPS-laitteiden oikosulkuvirrat jäävät usein liian pieniksi nopeaan poiskytkentään ylivirtasuojilla. Suojaus voidaan kuitenkin toteuttaa elektroniikan avulla. Kiinteässä verkossa pelkkä elektroninen suojaus ei riitä vaan tarvitaan erillinen keskus, jonne asennetaan luotettavat suojalaitteet. UPS-laitteille ei voida kuitenkaan asettaa lisävaatimuksia, kun syöttö tapahtuu suoraan UPS:n pistorasioista. Tällöin elektroninen suojaus on riittävä. Tarkimmat ohjeet valintaan, suojakseen ja asennukseen saa yleensä laitteiden valmistajilta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 309 – 310.)

UPS-laitteet jaetaan neljään ryhmään niiden ominaisuuksien perusteella:

- Off-line UPS: Normaalitilanteissa verkkosähkö suodatetaan kuormalle. Suurten jännitevaihteluiden ja katkosten aikaan vaihtosuuntaaja käynnistyy ja syöttää sähköä akustosta kuormalle.
- Line interactive off-line UPS: Normaalitilanteessa verkkosähkö syötetään säätäjän kautta kuormalle. Säätäjä toimii käämikytkinperiaatteella korjaten lähtöjännitettä verkkojännitteen vaihdellessa. Tämä ratkaisu soveltuu ympäristöön, jossa jännitevaihtelut ovat suuret. Jos verkkojännitteessä on taajuusvaihteluja (varavoi- makäytöt), siirtyy sähkönsyöttö akustolle.
- On-line UPS: Soveltuu kriittisimpien kuormien syöttämiseen. Verkkosähkö kulkee normaalitilanteessakin tasasuuntaajan ja vaihtosuuntaajan läpi. Kuormalle syötettävä jännite on riippumaton verkkojännitteen vaihteluista, jännitepiikeistä ja taajuusvaihteluista. Laitteessa on staattinen ohituskytkin, joten ylivirtatilanteessa kuten moottorin käynnistykset ja ylikuormitukset laite siirtyy ohitukselle. Näin vältetään ylikuormituksesta johtuva laitteen vaurioituminen. Laite siirtyy akkukäytölle vain katkostilanteissa. UPS-laite on tarkoitettu erittäin herkille kuormille.
- Line interactive UPS: Perustuu ratkaisuun, jossa syöttävän verkon rinnalla on rinnakkaissäätäjä. Nimellisellä verkkojännitteellä sähkö syötetään kuormalle suodattimen läpi. Verkkojännitteen vaihdellessa lähtöjännite säädetään nimelliseksi rinnakkaissäätäjällä. Sääto tapahtuu vaihekulmaa muuttamalla. UPS-laite on tarkoitettu erittäin herkille kuormille. (Powerware 2001, 2 – 3.)

Kainuun Rastiviikolla katkeamaton sähkönsyöttö varmistettiin lähiverkon verkkokyt- kimille. Lisäksi suunnitelmassa huomioitiin mahdollisen varavoiman aikainen tietotek- niikan suojaaminen UPS-laitteilla. Maalialueen tietokoneet ja tulostimet kytkettiin UPS-laitteisiin, jotta mahdolliset taajuus- ja jännitevaihtelut eivät aiheuttaisi ongelmia laitteiden käytössä. Kannettavien sähkönsyöttöä ei otettu UPS-laitteiden kautta vaan katsottiin, että kannettavien akut riittävät tasaamaan verkkohäiriöt.

4.8 Jännitteenalenemien laskenta

Standardi SFS 6000 suositellaan, ettei jännitteenalenema olisi sähkölaitteiston liitty- miskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % sähkölaitteiston nimellisjännit- teestä. Sähkönjakeluyhtiöllä on velvollisuus huolehtia siitä, että nimellisjännite pysyy sille määritettyjen rajojen sisällä. Vaatimukset selviävät standardista SFS 50160. Yleiset vaatimukset on kerrottu taulukossa 3 sivulla 22.

4.8.1 Jännitteenalenema muuntajassa

Jännitteenalenemien laskenta voidaan aloittaa muuntajalta. Oletetaan keskijänniteverkko jäykäksi. Muuntajan aiheuttama jännitteenalenema tarkoittaa ensiöjännitteen ja redusoidun toisiojännitteen itseisarvojen erotusta. Muuntajan likimääräinen jännitteenalenema saadaan laskettua alla olevasta kaavasta.

$$U_a = |U_1| - |U'_2| \approx IR_K \cos\varphi + IX_K \sin\varphi \quad (4.8.1.1)$$

jossa:

U_a	on muuntajan jännitteenalenema
U_1	on muuntajan ensiöjännite
U'_2	on redusoitu muuntajan toisiojännite
I	on kuormitusvirta
R_K	on muuntajan oikosulkuresistanssi
X_K	on muuntajan oikosulkureaktanssi
φ	on vaiheensiirtokulma (Korpinen 2008)

Yleensä muuntajasta ei ilmoiteta suoraan oikosulkuresistanssia ja -reaktanssia. Yleensä muuntajasta löytyy suhteellinen oikosulkuimpedanssi z_K , jota apuna käyttäen voidaan kysytyt arvot laskea. oikosulkuimpedanssi voidaan ilmoittaa seuraavasti oikosulkuresistanssin ja -reaktanssin avulla:

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} \quad (4.8.1.2)$$

Oikosulkuimpedanssi voidaan laskea seuraavasta kaavasta. (Korpinen 2008)

$$Z_K = \frac{z_K}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (4.8.1.3)$$

jossa:

S_n	on muuntajan nimellisteho
U_n	on nimellisjännite laskettavassa jänniteportaassa
z_K	on suhteellinen oikosulkuimpedanssi (Korpinen 2008)

Seuraavat laskut suoritettu taulukon 7 sivulla 31 tietoja hyväksi käyttäen.

Lasketaan suhteellinen oikosulkuresistanssi r_K jos sitä ei ole ilmoitettu muuntajan tiedoissa.

$$r_K = 100 \frac{P_K}{S_n} \% \quad (4.8.1.4)$$

missä P_K kuvaa muuntajan nimellisiä kuormitushäviöitä. (Korpinen 2008)

Suhteellinen oikosulkureaktanssi saadaan seuraavasta kaavasta, kun tiedetään suhteellinen oikosulkuimpedanssi ja -resistanssi. (Korpinen 2008)

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2} \quad (4.8.1.5)$$

Esimerkkikohteessa laskettu suhteellinen oikosulkureaktanssi.

$$x_K = \sqrt{4,8^2 - 1,147^2} = 4,66 \%$$

Lopuksi voidaan laskea saaduista suhteellisista arvoista todelliset arvot

$$R_K = \frac{r_K}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{1,147 \%}{100} \frac{(410 \text{ V})^2}{315 \text{ kVA}} = 6,12 \text{ m}\Omega \quad (4.8.1.6)$$

$$X = \frac{x_K}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{4,66 \%}{100} \frac{(410 \text{ V})^2}{315 \text{ kVA}} = 24,9 \text{ m}\Omega \quad (4.8.1.7)$$

Muuntajan kokonaiskuormitus on tiedettävä ennen kuin jännitteenalenema voidaan laskea. Esimerkkikohteessa verkkoyhtiö ilmoitti muuntajan kuormitukseksi ennen uutta liittymää 30 %. Nykyisen liittymän aiheuttama kuormitus huomioidaan huipputehon mukaan. Näennäistehoja laskettaessa yhteen tulee huomioida eri kuormitusten suuntakulmat. Tässä tapauksessa kuormituksen oletetaan noudattavan samaa suuntakulmaa, joka tässä tapauksessa on $\cos \varphi = 0,96$. Alla on laskettu muuntajan kokonaiskuormitus:

$$\bar{S}_{\text{kokonais}} = \frac{\text{kuormitus}\%}{100} \bar{S}_n + \bar{S}_{\text{tuleva}} \quad (4.8.1.8)$$

$$\bar{S}_{\text{kokonais}} = \frac{30}{100} * 315 \text{ kVA} + 73,9 \text{ kVA} = 168,4 \text{ kVA}$$

Tästä saadaan muuntajaa kuormittava virta:

$$I = \frac{\bar{S}_{\text{kokonais}}}{U_n * \sqrt{3}} = \frac{168,1 \text{ kVA}}{400 \text{ V} * \sqrt{3}} = 243 \text{ A} \quad (4.8.1.9)$$

Näiden arvojen perusteella voidaan laskea muuntajalla syntynyt jännitteenalenema. $\cos\varphi$ oletetaan 0,96, koska verkossa ei siirretä merkittäviä määriä loistehoa. Oletettu arvo pohjautuu Energiateollisuus ry:n mittauksiin sähkölämmityksissä asuintaloissa. Tämän arvon käyttö on perusteltua, koska muuntaja syöttää sähkölämmitteisiä loma-asuntoja ja myös verkon muu kuormitus on pääosin resistiivistä. (Anjala 2009, 6)

$$\cos\varphi = 0,96 \rightarrow \sin\varphi = 0,28$$

$$U_a \approx 243 \text{ A} * 6,12 \text{ m}\Omega * 0,96 + 243 \text{ A} * 24,9 \text{ m}\Omega * 0,28 \approx 3,12 \text{ V}$$

Jännite muuntajan toision navoissa tällä kuormituksella on:

$$U = U_n - U_a = 410 \text{ V} - 3,17 \text{ V} = 406,9 \text{ V} \quad (4.8.1.10)$$

missä U_n on muuntajan nimellinen toision mitoitusjännite.

4.8.2 Jännitteenalenema jakeluverkossa

Jännitteenalenemat voidaan laskea jakeluverkossa, joko yksivaiheisella vaihtojännitteellä tai kolmivaiheisella vaihtojännitteellä. Alla ovat laskelmissa käytetyt kaavat:

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$U_a = I * 2 * l * (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (4.8.2.1)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$U_a = I * \sqrt{3} * l * (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (4.8.2.2)$$

Kaavoissa plusmerkkiä käytetään induktiivisella ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormituksella.

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavasta:

$$u_a = \frac{U_a}{U_n} * 100 \% \quad (4.8.2.3)$$

jossa:

l on johdon pituus (m)

r on ominaisresistanssi (Ω/m)

x on ominaisreaktanssi (Ω/m)

U_n on nimellisjännite

u_a on suhteellinen jännitteenalenema (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009, 226.)

Esimerkkikohteessa laskettu jännitteenalenema liittymisjohdossa:

$$U_a = 58,3 \text{ A} * \sqrt{3} * 250 \text{ m} * \left(\frac{0,938 \Omega}{\frac{\text{km}}{1000 \text{ m}}} * 0,96 \pm \frac{0,103 \Omega}{\frac{\text{km}}{1000 \text{ m}}} * 0,28 \right) = 23,5 \text{ V}$$

Suhteellinen alenema

$$u_a = \frac{400 \text{ V} - (406,9 \text{ V} - 23,5 \text{ V})}{400 \text{ V}} * 100 \% = 4,15 \%$$

Kainuun rastiviikolla kisakylässä jännitteenalenema oli huomattava jo liittymisjohdossa. Sallittu alenema liittymisjohdossa on enintään 5 %. Jännitteenalenema nousi reiluun neljään prosenttiin liittymisjohdossa. On kuitenkin tärkeää tarkastella jännitteenalenemaa kokonaisuutena. Kokonaisjännitteenalenema ratkaisee tarvitseeko verkkoa vahvistaa. Jännitteenalenemaa saadaan pienennettyä suurentamalla kaapeleiden poikkipintoja tai lyhentämällä kaapeleiden pituuksia mikäli mahdollista. Taulukossa 11 on esitetty jännitteenalenemia ja jännitteitä muutamassa verkon pisteessä.

TAULUKKO 11. Kokonaisjännitteenalenemat eri kuormituspisteissä

Kuormituspiste	Alenema-%	Jännite(V) pisteessä
Pääkeskus	4,15	383,4
AK3.2	6,13	375,5
Kylmäkontti	5,25	378,0

5 KAINUUN RASTIVIIKKO 2012 TAPAHTUMAN SUUNNITELU JA MITOITUS

Kainuun Rastiviikon 2012 -tapahtuman sähköistyksen suunnittelu aloitettiin tammi-kuussa 2012. Siihen mennessä järjestäjä Kajaanin Suunnistajat ry oli sopinut paikallisen verkkoyhtiön E.ON:n kanssa kohteeseen toimitettavasta sähköliittymästä. Sähköliittymän koko on 3 x 63 A ja Eltel Networks Pohjoinen Oy toimittaa vuokralle pääkeskuksen liittymisjohtoineen. Liittymän koko on valittu aikaisempien vuosien kokemuksella. Laskelmat osoittivat liittymäkoon olevan kohteeseen riittävä.

5.1 Kuormitus

Kuormituksen arviointia varten kerättiin eri kuormitusalueille tulevien sähkölaitteiden tiedot ja määrät. Pääpaino sähköistyksessä on maali alueen ja ravintolateltan sähköistyksessä. Myyntiteltoja varten järjestetään sähköistys käytännössä vain myyntilaitteita ja muutamaa kylmälaitetta varten. Lisäksi alueen yhteyteen järjestetään asuntoautopaikoitusalue, jonka sähkönsyöttö tapahtuu Joutenlammen kurssikeskuksen liittymästä. Alueella on muutamia jakokeskuksia, joista otetaan sähkönsyöttö pistokytkimellä paikoitusalueelle. Työssä oli tarkoitus mitoittaa alueelle maksimimäärä asuntoautopaikkoja. Sähkönsyöttö otetaan paikoitusalueelle kolmesta eri pisteestä. Lisäksi alueelle tarvitaan sähköistys suihkujen paineenkorotuspumpuille. Paineenkorotuspumppuja on neljä kappaletta, kunkin pumpun teho on 1,3 kW. Myös paineenkorotuspumppujen sähkönsyöttö otetaan kurssikeskuksen liittymästä. Alkuperäinen tarkoitus oli ottaa pumppujen syöttö kisakylän uudesta liittymästä, mutta matkaa suihkualueelle oli noin 200 metriä, joten käytännössä syöttö osoittautui mahdottomaksi.

Kuvassa 6 on kuvattu alueen eri kulutus- ja syöttöpisteet. Alueella etäisyydet ovat suhteellisen pitkiä, joten kurssikeskuksen liittymästä saadut syöttöpisteet vähentävät pitkistä etäisyyksistä johtuvaa ylimateitusta alueen pohjoispäässä. Lisäksi paikoitusalueella on 5 autolämmitystolppaa, joista saadaan osa alueen paikoista sähköistettyä. Alueelle mitoitettiin asuntoautopaikoitus 47 autolle.



KUVA 6. Alueen kulutus- ja syöttöpisteiden sijainti

5.2 Oikosulkuvirtojen ja jännitteenalenemien laskenta

Uuden liittymän oikosulkuvirtojen mitoituksessa lähtökohtana oli verkkoyhtiöltä saatu muuntajan toisiopuolen yksivaiheinen oikosulkuvirta. Tämän arvon pohjalta laskettiin verkon pienimmät oikosulkuvirrat. Oikosulkuvirrat täyttivät vaatimukset alueella hyvin. Pääkeskuksella oikosulkuvirta oli noin 560 A ja pienimmilläänkin se jäi alueen kaukaisimmassa ryhmässä noin 160 A:iin, joka riittää reilusti 16 A B-typin johdonsuojakatkaisijalle. C-typin johdonsuojakatkaisijalle tämä arvo olisi aivan alarajalla.

Kurssikeskuksen liittymästä otettujen syöttöjen oikosulkuvirrat tarkastettiin mittaamalla oikosulkuvirrat syöttöpisteen pistokytkimestä. Paikotusalueen lähellä olevan 16 A kolmivaihepistorasian yksivaiheinen oikosulkuvirta oli 327 A. Rivitalojen välissä olevan jakokeskuksen oikosulkuvirta oli 1437 A. Päärakennuksen yhteydessä olevaa 32 A pistorasiaa ei vielä mitoitusvaiheessa ollut olemassa, joten sen oikosulkuvirtaa ei työssä mitattu. Kuitenkin kyseinen pistorasia tulee sijaitsemaan niin lähellä pääkes-

kusta, että sen oikosulkuvirta tulee olemaan vähintäänkin vastaavaa tasoa kuin rivitalojen välissä mitatun jakokeskuksen. On kuitenkin huomattava, että nämä oikosulkuvirrat ovat 125 % taulukon arvoista mittaolosuhteiden vuoksi, joten arvot täytyy muuttaa vastaamaan taulukon arvoja. Taulukon arvot on yleensä ilmoitettu oikosulun aikaisessa lämpötilassa, joka on korkeampi kuin mittaushetkellä. Tämä asia on huomioitu oikosulkuvirtalaskelmissa. Kuvassa 7 on paikoitusalueen lähellä sijaitseva 16 A syöttöpiste, jonka oikosulkuvirran arvo on 327 A.



KUVA 7. 16 A 3-v pistorasia paikoitusalueen syöttöä varten (Tero Nevalainen 2012)

Jännitteenaleneman laskeminen aloitetaan muuntajalta. Muuntajalla täytyy huomioida huipputehon mukainen kuormitus ja laskea sitä vastaava jännitteenalenema. Jännitteenalenema kannattaa laskea myös verkon kaukaisimmassa pisteessä, jolloin nähdään verkon kokonaisalenema. Jos alenema ylittää standardin vaatimukset, on yksi vaihtoehto vahvistaa verkkoa. Laskettaessa Kainuun Rastiviikolle kokonaisalenemaa uudessa liittymässä tuli huomioida, että muuntajan toision mitoitusjännite oli 410 V. Tämä korjasi suurta alenemaa liittymisjohdossa huomattavasti. Ilman nostettua toision jännitettä alenema olisi noussut yli 5 %:n. Kainuun Rastiviikolla alenema kasvoi uudessa liittymässä verkon heikoimmassa kohdassa n. 6 % nimellisjännitteestä. Tämä arvo täyttää vielä standardin vaatimuksen. Jos pyrittäisiin korkeaan laatuun, alenema saisi olla korkeintaan 4 % ja se vaatisi syöttökaapelin uudelleenmitoituksen. Kuvassa 8 on aluetta syöttävä 315 kVA muuntaja.



KUVA 8. Joutenlammen alueen liittymiä syöttävä 315 kVA pylväsmuuntaja (Tero Nevalainen 2012)

5.3 Varavoiman ja UPS-laitteiden mitoitus

Kisakylää varten mitoitettiin varavoima tärkeimmille kulutuspaikoille, jotka vaativat jatkuvan sähkönsyötön. Tärkeimpiä on varmasti maalialueen tuloslaskenta, jonka varmistaminen on tärkeää kilpailujen onnistumisen takaamiseksi kaikissa tilanteissa. Kojekuormaa aggregaatille tulee yhteensä n. 11 kVA. Aggregaatiksi valittiin 12 kVA *Atlas-Copco QAX12*. Aggregaatti tuottaa 17,6 A virran ja siinä on 16 A ja 32 A kolmivaiheiset pistokytkimet sekä yksi 16 A yksivaihepistorasia. Aggregaatti sisältää alijännitelaukaisun, joka toimii jokaisessa lähdössä. 16 A pistokytkin on suojattu 16 A ylivirtasuojalla. 32 A pistokytkin on suojattu 20 A ylivirtasuojalla. 16 A yksivaihepistorasia on suojattu 16 A ylivirtasuojalla. Aggregaatti syöttää vikatilanteessa keskuksia AK1.1 ja AK4. Molemmissa kuormituspuoli on suojattu 30 mA:n vikavirtasuojakytkimellä. Lisäksi olisi suositeltavaa suojata AK1.1:n keskuksen lähdöt pienemmillä kuin

16 A johdonsuoja-automaateilla selektiivisyyden säilyttämiseksi normaalikäytön aikana. Suunnitelmassa kylmäkontille on varattu C10- ja info-teltoille B10 -johdonsuoja-automaatit. Vikavirtasuojauksessa selektiivisyys ei toteudu AK1.1 -keskuksella normaalikäytön aikana. Tässä selektiivisyyden edelle menee kuitenkin henkilöturvallisuuden varmistaminen varavoiman aikana. Valmistaja ei ilmoita tiedoissaan aggregaatin oikosulkuvirtaa, mutta luvun 4.6 mukaan se olisi vähintään $2,2 \times 17,6 \text{ A} = 38,7 \text{ A}$. Tämä ei riitä nopeaan poiskytkentään valituilla ylivirtasuojilla. Oikosulkusuojaus toteutuu alijännitelaukaisulla. Ylikuormitussuojina toimivat johdonsuoja-automaatit kykenevät katkaisemaan ylikuormituksen. Henkilöturvallisuus on varmistettu keskuksissa kuormituspuolta suojaavien vikavirtasuojakytkimien avulla. Aggregaatin maadoituspiste on liitettävä pääkeskuksen potentiaalintasaukseen vähintään $6 \text{ mm}^2 \text{ KeVi}$ -maadoitusjohtimella.

Kainuun Rastiviikolla ATK-laitteet pyritään suojaamaan UPS-laitteilla, jotka suojaavat lähinnä verkkokytkimiä jakelukatkoksilta ja muita ATK-laitteita varavoimakäytön jännite- ja taajuusmuutoksilta. Kannettavia tietokoneita ei liitetä UPS-laitteisiin, koska niiden sisäisten akkujen katsotaan suodattavan mahdolliset häiriöt. Kuulutuskopissa on suurin ATK-kuorma ja ATK-laitteille on varattu 900 VA UPS-laite. Muut UPS-laitteet ovat 500 VA. Nämä ovat minimisuosituksia, mutta riittävät suojaamaan laitteet haitallisilta jännitteen ja taajuuden muutoksilta kaikissa tilanteissa. Kohteeseen sopivia laitteita ovat esim. *Powerware 5110* -sarjan UPS-laitteet, jotka ovat line-interactive UPS-laitteita ja kykenevät suodattamaan hyvin verkon häiriöt.

5.4 Sähkösuunnitelman sisältö

Myös tilapäislaitteistoissa sähkösuunnitelma tulisi koota niin, että asennusvaihe sujuu helposti. Sähkösuunnitelman tulee olla riittävän selkeä ja tarvittaessa suunnitelmaa on myös tilapäislaitteistoissa selvennettävä sähköselityksellä. Tässä tapauksessa suunnitelmasta saatiin kuitenkin riittävän selkeä erilaisten kaavioiden ja luetteloiden avulla. Alla on tiivistetty suunnitelman sisältö luetteloksi:

- Suunnitelmasta kannattaa luoda piirustusluettelo (liite 2), johon merkitään kaikki suunnitelmaan kuuluvat asiakirjat. Tämä varmistaa sen, että kaikki asiat tulevat huomioiduksi oikein suunnitelmaa toteuttaessa.
- Suunnitelman pääkuva on kaapelikartta tai asemakuva (liite3), jossa näkyvät kaapeleiden sijoitus ja keskusten sijainti. Mikäli verkon rakenne on yksinkertainen, voidaan tähän kuvaan sijoittaa myös kaapeleiden suojaus kulkuväylillä, keskusten ja muiden kojeiden suojaus sekä muut verkon asentamiseen oleelliset liittyvät seikat. Jos

verkko on laaja, tehdään suojauksista ja muista tiedoista toinen kuva, josta asiat on helpompi lukea.

- Sähköpääkaavio kertoo verkon rakenteen suojauksen ja se toimii verkon rakentajalle ohjeena. Mikäli verkko on laaja ja sen maadoitusjärjestelmä vaatii ohjeistusta, luodaan maadoituksista maadoituskaavio. Myös erikoisjärjestelmistä kuten varasyöttöjärjestelmät on hyvä tehdä kaavio, josta selviävät esim. tarvittavat kytkennät. Esi-merkit kaavioista on koottu liitteeseen 4.
- Laiteluettelo (liite 5) on hyvä tiivistelmä sähkölaitteiston laitemääristä. Laiteluetteloon olisi hyvä koota tyyppi ja tehotiedot. Laiteluettelon tarkoitus on antaa tietoja alueen kuormituksesta suunnitelman laatijalle ja tilaajalle vastaavasti sähkölaitemäärät, mitä alueelle joudutaan hankkimaan.
- Myös suunnitelman pohjana olleet laskelmat (liite 6) on hyvä koota suunnitelman liitteeksi. Näiden pohjalta voidaan toteuttaa tarvittaessa verkon laajennusta ja tarkastaa käyttöönottotarkastuksessa esim. oikosulkuvirtojen todellisuus.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä sähkösuunnitelma Kainuun Rastiviikko 2012 -tapahtumaan. Lisäksi työn on tarkoitus toimia suunnitteluohjeena tilapäissähköistyksiä varten. Työssä pyrittiin huomioimaan tärkeimmät seikat, jotka vaikuttavat tilapäissähköistysten suunnitteluun.

Työssä käsiteltiin laajasti sähköturvallisuutta ja kuinka sen tulisi toteutua tilapäislaitteistoissa. Sähköturvallisuuden tulisi olla ensimmäinen asia, joka huomioidaan sähköistyksiä suunniteltaessa tai niitä asennettaessa. Yleensä tilapäislaitteistojen asennus jää henkilöille, jotka pystyttävät varsinaisen tilapäisrakennelman. Vaikka tilapäisen verkon laitteet kytketäänkin pääosin pistokytkimin, ei suunnittelun ja ammattiasentajien tarvetta pidä väheksyä. Vain sähköalan ammattilaisella on tarpeeksi tietoa sähkön vaaroista ja määräyksistä, joiden tulee toteutua kyseisissä sähköasennuksissa. Mikäli verkkoa laajennetaan suunnitelmasta, on pystyttävä todistamaan laajennetun laitteiston sähköturvallisuus. Yleensä tämä voidaan todistaa mittausten avulla.

Tilapäissähköistystä koskevaa materiaalia on saatavilla hyvin vähän. Tilapäissähköistysten erikoisvaatimuksiin on alettu kiinnittää huomiota vasta viime vuosina. Standardeista löytyy tietoa jonkin verran, mutta varsinaisia suunnitteluohjeita tai käsikirjoja ei ole vielä toistaiseksi olemassa. Sähkösuunnitelma nopeuttaa toteutusvaihetta ja vähentää laitteistossa syntyviä ongelmia. Myös ongelmatilanteissa sähkösuunnitelmasta saa äkkiä käsityksen verkon rakenteesta ja nopeuttaa näin ongelmien ratkaisua. Suunnitelman avulla myös urakoinnin kilpailutus onnistuu ja hyvin tehty suunnitelma tuo sen myötä säästöä. Kainuun Rastiviikon 2012 sähköistys toteutetaan heinäkuussa 2012.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja aiheen tutkiminen ja suunnitelman tekeminen oli antoisaa. Työssä oli useita asioita, joista ei ollut olemassa varsinaista ohjetta. Näissä tilanteissa päätökset pyrittiin tekemään lähtökohtaisesti sähköturvallisuuden näkökulmasta. Mielestäni onnistuin lopullisessa suunnitelmassa hyvin huomioimaan eri seikat, jotka vaikuttavat tilapäislaitteiston sähköistykseen.

LÄHTEET

ABB Oy. 2004. Pienjännitekojeet – Pistokytkimet [verkkodokumentti] [viitattu 20.4.2012] Saatavissa:

[http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/1e4667089ea32aa0c2256d9e003763e9/\\$File/1SCC700002C1801.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/1e4667089ea32aa0c2256d9e003763e9/$File/1SCC700002C1801.pdf).

Alanen, R. & Hätönen H. 2006. *Sähkölaadun ja jakelun luotettavuuden hallinta* [verkkojulkaisu] VTT Working Papers 1479-7683 [viitattu 30.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>.

Anjala, R. 2008. *Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen SA2:08*. Helsinki: Adato Energia Oy.

Kainuun Rastiviikko ry 2012. Tapahtuman kotisivut [verkkosivu] [viitattu 25.4.2012] Saatavissa: <http://krv.rastiviikko.fi/>

KTMP *Sähköalan töistä* L 1996/516. Edilex. Lainsäädäntö [viitattu 4.4.2012]. Saatavissa: <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960516?toc=1>.

Korpinen, L. 2008. *Sähkövoimatekniikkaopetus. 9 Muuntajat ja sähkölaitteet* [Verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/arkisto>.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. *Sähkönjakelutekniikka. 2. uudistettu painos*. Helsinki: Otatieto.

Ramirent Finland Oy 2012. *Sähkö- ja valaistuskalusto. Generaattorit 10-15 kVA*. [verkkosivu] [viitattu 20.4.2012]. Saatavissa: <http://ramirent.edita.fi/fi/tuoteluettelo/>.

SFS 6000-1 2007. *Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät*. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-43 2007. *Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät, ylivirtasuojaus*. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-52 2007. *Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. johtojärjestelmät*. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-7-711 2007. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-711: Erikoistilojen- ja asennusten vaatimukset. Näyttelyt, esitykset ja näyttelyosastot. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-7-740 2007. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-740: Erikoistilojen- ja asennusten vaatimukset. Huvipuistojen, tivoli- ja sirkusten huvilaitteiden, myyntikojien ja vastaavien tilapäiset sähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-8-813 2007. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-813: Eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Pistokyttimeen valinta ja asennus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 60439-4 2005. Jakokeskukset. Osa 4: Työmaakeskusten erityisvaatimukset. Teoksessa SFS-Käsikirja 154. 2. uudistettu painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 267-288.

ST 52.40 2003. Pienjännitteisen siirrettävän moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007. *SFS 6002 käytännössä*. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2009. *D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkömarkkinalaki L1999/466. Edilex. Lainsäädäntö [viitattu: 19.4.2012]. Saatavissa: <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19950386?toc=1>.

Sähköturvallisuuslaki L1996/410. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu: 19.4.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960410>.

Powerware 2001. *UPS-laitteen valinta ja asennus* [verkkojulkaisu] [viitattu 18.4.2012]. Saatavissa: lit.powerware.com/ll_download.asp?file=UPS_kasikirja705.pdf.

Vohek Oy 2012. Tuotteet. Työmaakeskus. Työmaakeskukset. [verkkosivu] [viitattu 17.4.2012]. Saatavissa: <http://www.vohek.fi/>.

Vuorenmaa, S. 2009. Valokuva teoksessa *Sähkölehti 5/2009*. Sähköistyksen tilapäis-laitteistot,38

KAUPPA JA TEOLLISUUSMINISTERIÖN PÄÄTÖS 1193/1999 LIITE

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta

OLENNAISET TURVALLISUUSVAATIMUKSET

1. Ihmiset ja kotieläimet on suojattava vaaroilta, joita voi syntyä koskettaessa sähkölaitteiston jännitteisiä osia tai jouduttaessa liian lähelle näitä osia.

Suojaus on toteutettava estämällä virran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta tai rajoittamalla virran suuruus vaarattoman pieneksi.

Suojausmenetelmänä on tavallisesti käytettävä koskettamiselta suojaavaa eristystä tai kotelointia, jollei virran suuruus ole rajoitettu vaarattoman pieneksi.

Jos eristyksen tai koteloinnin käyttö ei ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista taikka tarkoituksenmukaista, saa suojausmenetelmänä käyttää jännitteisten rakenteiden sijoittamista riittävän kauas kosketusetäisyyden ulkopuolelle.

Jos eristyksen tai koteloinnin käyttö ei ole mahdollista tutkimus- tai testauslaitteistoissa, saa käyttää myös tahattomalta koskettamiselta suojaavia esteitä tai muuta soveltuvaa suojausmenetelmää edellyttäen, että luotettavasti estetään sivullisten pääsy vaara-alueelle.
2. Ihmiset ja kotieläimet on suojattava vaaroilta, joita voi syntyä sähkölaitteistossa esiintyvän vian aikana koskettaessa jännitteelle alttiita osia tai oltaessa sähkölaitteiston lähellä.
3. Sähkölaitteiston rakenteen on oltava sellainen, että ei synny korkean lämpötilan tai valokaaren aiheuttamaa sähkölaitteistoon kuulumattoman palavan aineen syttymisvaaraa.
4. Sähkölaitteistot eivät saa aiheuttaa palovammojen vaaraa ihmisille eikä koti-eläimille.
5. Jännitteisissä johtimissa mahdollisesti kulkeva ylivirta ei saa aiheuttaa sellaisia korkeita lämpötiloja tai sähkömekaanisia rasituksia, jotka voivat vahingoittaa ihmisiä, kotieläimiä tai omaisuutta.
6. Sähkölaitteistossa esiintyvän vian yhteydessä on normaalitilanteessa jännitteettömien johtimien ja muiden johtavien osien kestettävä niiden kautta mahdollisesti kulkeva vikavirta ilman, että niiden lämpötila nousee vaarallisen korkeaksi tai että niistä aiheutuu mekaanista vaaraa.
7. Suojalaitteiden on toimittava sellaisilla virroilla, jännitteillä ja sellaisessa ajassa, jotka takaavat riittävän turvallisuuden.
8. Sähkölaitteiston sähköinen suojajärjestelmä on valittava siten, että se voidaan pitää toimintakuntoisena ja luotettavana koko sähkölaitteiston käyttöiän.

9. Eri jännitteillä syötettyjen virtapiirien jännitteisten osien välinen vika tai sähkö-laitteistosta muusta syystä aiheutuva ylijännite ei saa aiheuttaa vaaraa tai vahinkoa ihmisille, kotieläimille tai omaisuudelle.
10. Sähkölaitteiston jännitelujuuden ja eristystason on vastattava käyttöolosuhteissa esiintyviä jännitteitä.
11. Sähkölaitteiston rakenteen on oltava sellainen, että se kestää tarkoitetussa käytössä ja käyttöpaikassa todennäköisesti vaikuttavat ulkoiset rasitukset ja olosuhteet.
12. Sähkölaitteistot on rakennettava kyseiseen käyttöön ja olosuhteisiin tarkoite-tuista sähkölaitteista ja muista laitteista sekä tarvikkeista, joiden rakenne täyttää niitä kos-kevat säädökset. Laitteet ja tarvikkeet on asennettava valmistajan tarkoittamalla ta-valla ja siten, että niiden turvallisuus säilyy.
13. Sähköalan ammattitaitoa vailla olevien henkilöiden käyttöön tarkoitettujen laitteisto-jen rakenteen on oltava sellainen, että nämä henkilöt voivat käyttää laitteistoa ja tehdä heidän tehtäväkseen tarkoitetut toimenpiteet turvallisesti ilman jännitteisten osien kosketusvaaraa ja valokaarivaaraa.
14. Sähkölaitteiston rakenteen ja sijoituksen on oltava sellainen, että sen vaaroja tunte-mattomat henkilöt eivät pääse helposti käsiksi jännitteisiin osiin.
15. Sähköratalaitteistoon tai muuhun erikoissähkölaitteistoon mahdollisesti liittyvät poik-keukselliset vaaratekijät on otettava huomioon laitteiston rakenteessa tai suojaukses-sa
16. Lääkintätilaan, räjähdysvaaralliseen tilaan tai muuhun poikkeuksellisia vaara-tekijöitä sisältävään tilaan saa sijoittaa vain sellaisen sähkölaitteiston, jonka rakenteella tai suojauksella on varmistettu laitteiston turvallisuus kyseisessä tilassa.
17. Ilmajohtojen ja muiden sähköjakeluun liittyvien sähkölaitteistojen rakenteissa on otettava huomioon tavanomaisten sähkölaitteistojen turvallisuutta koskevien vaativi-en lisäksi seuraavat tekijät:
 - sääolosuhteista ja muista tekijöistä aiheutuvat lämpörasitukset, mekaa-niset rasitukset ja muut vaikutukset;
 - jännitteisten rakenteiden etäisyys rakennuksista, puista ja vastaavista;
 - ihmisten liikkuminen ja liikenne;
 - samoissa pylväissä tai muuten lähellä toisiaan sijaitsevien ilmajohtojen keskinäinen vaikutus;
 - ilmajohtojen pylväissä sijaitsevien muiden laitteistojen ja laitteiden vai-kutus.

18. Sähkölaitteiston eri osien on oltava keskenään yhteensopivia. Sähkölaitteisto tai sähkölaite ei saa vaarantaa toisen sähköasennuksen tai sähkölaitteen turvallisuutta.
19. Sähkölaitteiston on oltava sellainen, että sen ja ei-sähköisten laitteistojen välillä ei synny vahingollisia vaikutuksia.
20. Sähkölaitteiston on oltava rakenteeltaan niin selväpiirteinen, että sen käytössä ja huollossa ei synny väärinkäsityksistä johtuvia vaaratilanteita.
21. Sähkölaitteisto on varustettava sen käyttöä ja hoitoa varten tarpeellisilla merkinnöillä ja varoituskilvillä.

Sähkölaitteistosta on laadittava sen rakentamista, käyttöä ja hoitoa varten tarvittavat kaaviot ja ohjeet.
22. Sähkölaitteiston rakenteen on oltava sellainen, että kaikki ennakoitavissa olevat sähkölaitteiston tarkastus-, testaus-, huolto- tai korjaustoimenpiteet voidaan tehdä turvallisesti ja tarkoituksenmukaisesti.
23. Sähkölaitteistossa on oltava riittävästi erotuslaitteita siten, että virtapiirit tai yksittäiset laitteet voidaan erottaa verkosta huoltoa, testausta, vian etsintää tai korjauksia varten.
24. Jos vaaran esiintyessä on tarpeen katkaista sähkön syöttö välittömästi, katkaiseva laite tai sitä ohjaava laite on asennettava siten, että se on helposti havaittavissa ja tehokkaasti sekä nopeasti käytettävissä.

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012			
1(1)	Piirustusluettelo	Mittakaava/lehtiä	Uudesta liittymästä
Piirustusnumero	Piirustuksen sisältö		
100	Asemakuva, Kisakylä	1:300	
101	Asemakuva, Suihkut	1:500	
200	Päikeskus	1	
201	AK1	2	
202	AK2	2	
203	AK3	2	
204	AK4	2	
205	AK8	1	Kuuluu kainuun suunnistajien alaisuuteen mutta kurssikeskuksen liittymästä
206	AK1.1	2	
207	AK2.2, 3.1, 3.2, 4.1	1	
300	Varasyöttöjärjestelmäkaavio	1	
301	UPS-laitteet järjestelmäkaavio	1	
LIITTEET			
Laiteluettelo			
Laskelmat			

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012			
1(1)	Piirustusnumero	Piirustuksen sisältö	Piirustusluettelo
			Mittakaava/lehtiä
	100	Asemakuva, Kiskakylä	1:300
	101	Asemakuva, Suihkut	1:500
	200	Pääkeskus	1
	201	AK1	2
	202	AK2	2
	203	AK3	2
	204	AK4	2
	205	AK8	1
	206	AK1.1	2
	207	AK2.2, 3.1, 3.2, 4.1	1
	300	Varasyöttöjärjestelmäkaavio	1
	301	UPS-laitteet järjestelmäkaavio	1
	LIITTEET		
	Laiteluettelo		
	Laskelmat		
			Kuuluu kainuun suunnistajien alaisuuteen mutta kurssikeskuksen liittymästä

SÄHKÖPÄÄ- JA ERIKOISKAAVIOT

										11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28.4.2012
										KESKUS								RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS							
																						A						
																								B				
																							C					
																									D			
																								E				
																										F		
																								G				
																										H		
																								J				
																										K		
																								L				
																										M		
																								N				
																										O		
																								P				
																										R		
																								S				
																										T		
																								U				
																										V		
																								X				
																										Y		
																								Z				
																										1		
																								2				

A muutos
B muutos
C muutos

D muutos
E muutos
F muutos

KRV2012
JOUTENLAMPI
PK

Suun.
Tn /
PBT.
Läm
1/1
Tark.

Kokonaissumma
Sähkösähkö
Puhuttimet
SÄH 200

Tilauksen
201200401

						11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29.4.2012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
						KESKUS								RYHMÄ	OSOITE				A/A	JOHDOTUS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
A muutokset	B muutokset	C muutokset	D muutokset	E muutokset	F muutokset																				A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																																	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
																																					C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
A muutokset	B muutokset	C muutokset	D muutokset	E muutokset	F muutokset																		Pääkeskus									H07RN-7 5G16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012				
1(1)	Laiteluettelo			
Laite	Määrä	Tehon yht. (VA)	Muut lisätiedot	Uudesta liittymästä
Coolerkaappi	3	1459		
Pystyviileä	1	1050		
Varastoallas	3	626		
Kahvinkeitin	4	10000		
Pieni Jäätelö	6	1253		
Mikroaalto	1	700		
Vedenkeitin	1	2500		
Uuni	1	2600		
Maksupääte	4	200		
Kylmäallas	4	2000		
Vitriini	1	300		
Esiintymislava	1	500		
Kylmäkontti	1	4000		
Kannettava	18	1800		
UPS	5	2700	Laitesuositus Poweware 5110 sarja	
Lasertulostin	7	2450		
Näyttö	3	300		
Pöytäkone	1	200		
Maalikamera	4	200		
Verkkokytin	5	150		
Painepumppu	4	6780		
Keskus 63A	1			
Keskus 32A	3			
Keskus 16A	5			
16A 1-V Prkeskus	5			
Kaapelisuoja	82 m		Kaapelisuoja, joka estää kaapelin hankautumisen (esim. elpac kaapelisuoja)	
Suojaputki	5 m		vahva teräsputki, puristuskestävyys(1250N)voidaan upottaa maanpinnan tuntumaan	
Kumikaapelit			Kaapelit luetteloitu oikosulkulaskuissa, (1-v liitosjohtoja keskuksilta ei huomioitu)	

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012				Kurssikeskuksen liittymästä
1(1)	Laiteluettelo			
Laitte	Määrä	Tehon yht. (VA)	Muut lisätiedot	
Asuntoauto	47	28200		
32A keskus	4		Syöttöpiste 1= 5 autoa	
16A keskus	6		Syöttöpiste 2= 24 autoa	
16A 1-V PRkeskus	1		Syöttöpiste 3= 11 autoa	
Kaapelisuoja	60 m		Autolämmitystolpista syötetään parkkipaikka-alueen reunan autot (7 autoa)	

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012

Kuormituslaskelma huipputeholla

Kurssikeskuksen liittymästä

1(2)						
Osastot	Kojekuorma(VA)	Osallistum	Huipputeho (VA)	Huom!		
Paikoitusalue	30000	0,9	27000	Osallistumiskerrolin huomioi osakuormitusten tehon liittymän huipputehon aikana. Liittymän huipputehon katsotaan syntyvän osakilpailun päätyessä kun pääjoukko saapuu maaliin.		
Suihkut	6797,4	0,95	6457,5			
YHTEENSÄ			33457,5 VA	Paineenkorotuspumppu 1,3kW 4kpl		
Muuntajan lisäkuorma yhteensä:						
					cosphi	0,85
					hyötysuhde	0,9
					näennäiste	6797,4 VA
					Asuntoautot	
					Määrä	50 kpl
					teho	600 w
					Autopaikkoja laskennassa	47kpl
					32A 3v-plistorasiasta	
					max. 30 ajoneuvoa	
					10 ajoneuvoa per vaihe	
					16A 3v-plistorasiasta	
					max. 15 ajoneuvoa	
					5 ajoneuvoa per vaihe	

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012					Kurssikeskuksen liittymästä	
2(2)	Kuormituslaskelma huipputeholla					
Kohde	Huipputeho (VA)	Huippuvirta (A)	Ylivirtasuojat(yhd.)	Huom!		
AK5	3000	5,2	B16	Autoja AK5:n alaisuudessa 5kpl		
AK5.1	1200	5,2	-			
AK6	14400	20,9	B32	Tarkasta VWS nim. toimintavirta (tulisi olla 300mA S-tyyppi) Autoja AK6:n alaisuudessa 24kpl		
AK6.1	3000	5,2	B16	Mikäli ylivirtasuojan kohdalla on viiva ei keskuksella ole omaa ylivirtasuojaa		
AK6.2	8400	13	-			
AK6.2.1	3000	5,2	B16			
AK6.2.2	3000	5,2	B16			
AK7	6600	10,4	B32	Autoja AK7:n alaisuudessa 11kpl		
AK7.1	2400	5,2	B16			
AK7.2	4200	10,4	B32			
AK7.2.1	1800	2,6	-			
AK8	6800	9,8	B16	Käytettävä pistokytinkinhaaroitinta (haaroitin neljään)		

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012						
1(2)	Oikosulkuvirrat ja kaapelit			Uudesta liittymästä		
Keskus	Syöttävä johdin	Pituus(m)	Ylivirtasuojaja(yhd.)	Oikosulkuvirta(A) laskettu mitattu	Minimi oik.virta(A)	Huom!
PK	AMKA 3x35+70	250		561,6		
AK1	H07RN-7 5G16	5	63gG	542	320	
AK1.1	H07RN-7 5G2,5	10	B16	378,1	80	Liitetään aggregaattiin vikatilanteessa
AK1PRK	H07RN-7 3G2,5	20	C16	290,4	160	
AK1.1PRK1	H07RN-7 3G2,5	15	B10	260,1	50	Mikäli ylivirtasuojan kohdalla on viiva ei keskuksella ole omaa ylivirtasuojaa
AK1.1PRK2	H07RN-7 3G2,5	25	B10	215,4	50	
Kylmäkontti	H07RN-7 5G2,5	30	C10	198,3	100	
AK2	H07RN-7 5G6	50	B32	284,6	160	
AK2.2	H07RN-7 5G2,5	30	B16	169,2	80	
AK2.2PRK	H07RN-7 3G2,5	10	-	149	80	
AK3	H07RN-7 5G6	20	B32	398	160	
AK3.1	H07RN-7 5G2,5	10	C16	301,9	160	
AK3.2	H07RN-7 5G2,5	20	C16	243,2	160	
AK4	H07RN-7 5G6	50	B32	298,8	160	Liitetään aggregaattiin vikatilanteessa

KAINUUN RASTIVIIKKO 2012				
1(2)	Oikosulkuvirrat ja kaapelit		Kursikeskuksen liittymästä	
Syöttöpiste	Mitattu oikosulkuvirta(A)	Laskennassa käytettävä arvo(A)	Huom!	
SP1	327	261	Mitattujen virtojen tulee olla 25 % suurempia kuin laskennassa, joten virrat muutettu vastaamaan laskentaa. Syöttöpistettä SP3 ei ole vielä olemassa. Oikosulkuvirta arvioitu SP2:n perusteella Oikosulkuvirta tarkistettava mittaamalla	
SP2	1437	1160		
SP3	1437	1160		

KAINUUN RASTIIVIIKKO 2012					Kurssikeskuksen liittymästä
1(1)	Jännitteenalenenemat huipputeholla				
Mittauskohta	Kuormitusvirta(A)	Alenema-%	Jännite(V)	Huom!	
AK5	5,2	1,15	227,4	Verkon kokonaisalenenmaa ei voida laskea, koska ei tiedetä edeltävän verkon osuutta. Uuden verkon alenenmat kuitenkin laskettu	
AK5.1	5,2	1,15	224,7		
AK6	20,9	1,93	225,6		
AK6.1	5,2	0,57	224,2	Alenema-% on ko. keskuksen syötössä syntynyt alenema	
AK6.2	13	1,8	221,5		
AK6.2.1	5,2	0,57	220,2		
AK6.2.2	5,2	1,34	218,3	Jännitteenalenenma syöttöpisteestä lukien 5,1%	
AK7	10,4	0,96	227,8		
AK7.1	5,2	0,76	226		
AK7.2	10,4	2,4	222,3		
AK7.2.1	2,6	0,95	220,1	Jännitteenalenenma yht. 4,31 %	
AK8	9,8	0,78	226,9		

